



Universidad Andrés Bello
Facultad de Ingeniería

ESTUDIO COMPARATIVO A NIVEL DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN DE UN EMBALSE DE REGULACIÓN INTERANUAL

**Caso de estudio: Embalse El Carmen – La Higuera
Provincia de Petorca, V Región**

Memoria para optar al título de ingeniero civil

Autor: Andrés Alberto González González
Profesor guía: Álvaro Luis Gomez Moreno

Santiago de Chile, 2016



A mi querido papá Luis González

A mi madre Jacqueline

A mis hijas Sofía y Rocío



DEDICATORIA

Este trabajo está especialmente dedicado a mis padres – abuelos que son unas de las personas más importantes en mi vida, a mi querido Padre Luis González y a la persona más amorosa y luchadora, a la que con cariño le llamaba “Mami Carmen”, que con su esmero y amor me entregaron valores y enseñaron cosas de la vida que nunca se olvidan y me han formado en el ámbito personal, a ambos está dedicado este trabajo y que de seguro se pondrán muy felices y orgullosos por este logro, juntos desde el cielo. Siempre tendrán un lugar dentro de mi corazón.

También quisiera aprovechar esta oportunidad de saludar a mi madre Jacqueline y darle las gracias por todo el esfuerzo brindado estos años, por su apoyo incondicional y por la confianza entregada en los momentos más difíciles. Gracias a ella, todo esto es posible. Te quiero mucho.

A Carla, mi compañera de toda la vida, por estar siempre a mi lado y haber podido construir una hermosa familia junto a mis tesoros.

A mis hijas, Sofía y Rocío, que le han dado a mi vida una nueva razón por qué luchar, y llenan de alegría cada momento del día.

También quisiera nombrar en este trabajo a mis amigos y compañeros, que si bien ya no nos vemos mucho, siempre tendrán un lugar en mi mente, a Alejandra, Pablo, Carlos y Andrés Curihual. Por haber compartido todos esos inolvidables momentos y acompañarnos en una de las mejores épocas de nuestras vidas.

A los profesores de la escuela, por la paciencia que tuvieron conmigo; les estoy eternamente agradecido. Haciendo mención en particular a don Siguer Otsu, un gran profesor, pero lo más importante, una excelente persona, y eso trasciende del aula de clases.

Agradecer a cada persona que trabaja en la escuela de Ingeniería, que durante mi carrera han sido excelentes personas.

A todos ustedes muchas gracias.



TABLA DE CONTENIDOS

Contenidos	Página
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. INTRODUCCIÓN	14
1.2. OBJETIVO GENERAL	16
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO	18
2.1. EMBALSES DE REGULACIÓN INTERANUAL	18
2.1.1. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA OBRA	18
2.1.2. PRINCIPALES COMPONENTES DE UN EMBALSE	18
2.1.2.1. MURO DE EMBALSE	18
2.1.2.2. POZO DE INUNDACIÓN O DE ALMACENAMIENTO	19
2.1.2.3. VERTEDERO DE CRECIDAS CON CANAL LATERAL	22
2.1.2.4. EJE HIDRÁULICO DEL VERTEDERO CON CANAL LATERAL	24
2.1.2.5. OBRA DE ENTREGA	28
2.1.3. VOLUMENES DE ACUMULACIÓN Y SUPERFICIE DE INUNDACIÓN	31
2.1.4. NORMAS Y CRITERIOS DE DISEÑO	32
2.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS	33
2.2.1. SISTEMA AASHTO	33
2.2.2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO USCS	36
2.2.2.1. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANOS GRUESOS	37
2.2.2.2. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANOS FINOS	38
2.3. PERMEABILIDAD DEL SUELO	44
2.3.1. MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD	47
2.3.2. MEDICIÓN POR INTRODUCCIÓN DE UN TUBO DE DIÁMETRO CONOCIDO EN TERRENO	48
2.4. MÉTODOS DE IMPERMEABILIZACIÓN DEL MURO	49
2.4.1. MATERIAL DEL MURO	49
2.4.2. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LÁMINA HDPE	51
2.4.3. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DEL SISTEMA ROCAMIX	55
2.4.3.1. DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO	58
2.4.3.2. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE ROCAMIX	60
2.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA	69
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	73
3.1 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	73
3.2. ESQUEMA DE METODOLOGÍA	75
CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE CASO	76
4.1 UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DE EMBALSE	76
4.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	76
4.1.2. ACCESOS AL ÁREA DEL PROYECTO	77
4.1.3. JUSTIFICACIÓN DE LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	78
4.2. ESTUDIOS PREVIOS APLICADOS AL CASO EMBALSE EL CARMEN – LA HIGUERA	80



4.2.1 MECÁNICA DE SUELOS	80
4.2.1.1 EXPLORACIÓN Y ESTRATIGRAFÍA	80
4.2.1.2 GRANULOMETRÍA	81
4.2.1.3 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL SITIO	82
4.2.1.4 CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE LOS SUELOS EXISTENTES EN EL SITIO	82
4.2.1.5 RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MURO	84
4.2.2. PERMEABILIDAD DE SUELOS	86
4.2.3. TOPOGRAFÍA	88
4.2.4. PRECIPITACIONES	90
4.2.5. SUPERFICIE Y CULTIVOS A REGAR	92
4.2.6. OFERTA DE AGUA	94
4.3. DISEÑO DEL EMBALSE	96
4.3.1. CURVA DEL EMBALSE	96
4.3.2. DISPOSICIÓN DEL MURO	99
4.3.3. DEFINICIÓN DE OBRAS Y COTAS CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE	99
4.3.4. ESTUDIO DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS	102
4.3.5. DISEÑO DEL VERTEDERO DE CRECIDAS CON CANAL LATERAL	103
4.3.6. DISEÑO DE OBRAS DE DESVIACIÓN NECESARIAS	110
4.3.7. DISEÑO DE LA OBRA DE ENTREGA	113
4.3.8. CARACTERISTICAS GENERALES DEL EMBALSE	118
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	119
5.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA	119
5.1.1. SUPUESTOS BÁSICOS	119
5.2. ALTERNATIVA Nº1: SUMINISTRO Y MONTAJE DE GEOMEMBRANA DE HDPE	120
5.2.1. PRECIOS UNITARIOS	121
5.2.2. GASTOS GENERALES Y PRESUPUESTOS DE LAS OBRAS	132
5.2.3. FLUJO CAJA	134
5.3. ALTERNATIVA Nº2: SUMINISTRO DE SISTEMA ROCAMIX	137
5.3.1. PRECIOS UNITARIOS	138
5.3.2. GASTOS GENERALES Y PRESUPUESTOS DE LAS OBRAS	142
5.3.3. FLUJO CAJA	144
5.4. ANALISIS DE RESULTADOS	146
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
6.1. CONCLUSIONES	148
6.2. RECOMENDACIONES	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
ANEXOS	156
ANEXO 1: Planos de Planta y Detalles de Embalse La Patagua	156
ANEXO 2: Evaluación Económica de Impermeabilización del Muro con arcilla (distancia 50 km)	159
ANEXO 3: Ensayos de Rocamix	162

ÍNDICE DE TABLAS

Contenidos	Página
Tabla 1: Tabla de clasificación de suelos según AASHTO	36
Tabla 2: Sistema de Clasificación USCS (a)	42
Tabla 3: Sistema de Clasificación USCS (b)	43
Tabla 4: Tabla de valores relativos de permeabilidad	45
Tabla 5: Sistema universal de clasificación AASHTO	58
Tabla 6: Sistema Clasificación Rocamix	59
Tabla 7: Clasificación Exclusiva Rocamix	59
Tabla 8: Dosis para su aplicación de Cemento	60
Tabla 9: Calicata N° 1	80
Tabla 10: Calicata N° 2	80
Tabla 11: Granulometría	81
Tabla 12: Coordenadas Geodésicas	89
Tabla 13: Coordenadas PR	89
Tabla 14: Uso Actual del Suelo y Expandido a Total Área de Interés (ha)	92
Tabla 15: Uso Futuro del Suelo para el Total Área de Interés (ha)	93
Tabla 16: Oferta Hídrica Legal Embalse La Patagua (l/s)	95
Tabla 17: Curva superficie y volumen embalse El Carmen – La Higuera	96
Tabla 18: Crecidas Cuenca Aportante Estero La Patagua	100
Tabla 19: Eje hidráulico en canal colector	105
Tabla 20: Eje hidráulico canal de transición y de descarga	107
Tabla 21: Eje hidráulico – Rápido de descarga	109
Tabla 22: Cuadro de Resultados de Caudal Máximo	115
Tabla 23: Características de Embalse El Carmen – La Higuera	118
Tabla 24: Detalle de Cubicaciones de alternativa n°1	121
Tabla 25: Cálculo del valor de HH	121
Tabla 26: APU Excavación (m3)	123
Tabla 27: APU Rellenos (m3)	124
Tabla 28: APU Suministro y Colocación de Lámina de HDPE (m2)	125
Tabla 29: APU Hormigón Estructural H25	126
Tabla 30: APU Armaduras de refuerzo	127
Tabla 31: APU Sum. y Mont. de Válvula de Compuerta D=300 mm (un)	128
Tabla 32: APU Sum. y Mont. de Válvula de regulación D=300 mm (un)	129
Tabla 33: APU Sum. y Mont. de Válvula de Ventosa D=300 mm (un)	130
Tabla 34: APU Suministro Fabricación y Montaje de Cañería 12” (ml)	131
Tabla 35: Resumen de precios unitarios	132
Tabla 36: Detalle de Gastos Generales del proyecto	132
Tabla 37: Cubicaciones y presupuesto embalse La Patagua	134
Tabla 38: Evaluación Económica Embalse La Patagua	136
Tabla 39: Tabla Resumen Evaluación Económica.	137
Tabla 40: Detalle de cubicación alternativa n°2	139



Tabla 41: APU Sistema Rocamix (lt)	140
Tabla 42: APU Cemento (kg)	141
Tabla 43: Resumen de precios unitarios	141
Tabla 44: Gastos Generales alternativa n°2	142
Tabla 45: Cubicaciones y presupuesto embalse la patagua	144
Tabla 46: Evaluación Económica Embalse La Patagua	145
Tabla 47: Tabla Resumen Evaluación Económica	146



ÍNDICE DE FIGURAS

Contenidos	Página
Figura 1: Muro tipo de embalse de regulación	19
Figura 2: Depósito de almacenamiento	20
Figura 3: Corte típico de muro	20
Figura 4: Vertedero con canal lateral	24
Figura 5: Esquema para el cálculo de eje hidráulico en flujo gradualmente variable	26
Figura 6: Disposición Obras de Entrega (planta).	30
Figura 7: Disposición de Obras de Entrega (Corte A-A).	30
Figura 8: Carta de Plasticidad	39
Figura 9: Pozo excavado para medir la permeabilidad " k_m " del suelo	49
Figura 10: Planta de Tratamiento Molibdeno Codelco Teniente	52
Figura 11: Embalse de Regulación, San Fernando VI Región de Chile	52
Figura 12: Impermeabilización de embalse Viña del Nuevo Mundo, Santa Cruz, VI Región, Chile	53
Figura 13: Impermeabilización de laguna ornamental y navegable, Parque Aeropuerto Cerrillos, Chile.	53
Figura 14: Ciclo de la naturaleza Rocamix.	56
Figura 15: Embalse Guama (2009), Cuba	63
Figura 16: Embalse Rural (2009), La Rioja, Argentina	63
Figura 17: Revestimiento de embalse y Canal (2009), Tunez	64
Figura 18: Embalse Juventud, Cuba	64
Figura 19: Esquema de metodología	75
Figura 20: Localización geográfica del Proyecto a nivel regional y provincial.	76
Figura 21: Localización geográfica del Proyecto en Google Earth	77
Figura 22: Localización geográfica del Proyecto en Google Earth	78
Figura 23: Localización de puntos IGM SIRGAS	88
Figura 24: Precipitación Anual Estación Las Pataguas (2001-2011).	91
Figura 25: Precipitación Mensual Estación Las Pataguas (2001-2011).	91
Figura 26: Curva de Embalse Volumen Embalsado vs Cota.	97
Figura 27: Área de inundación Embalse La Patagua.	98
Figura 28: Disposición de muro	101
Figura 29: Disposición de Obra de Desviación	111
Figura 30: Cajón de hormigón de desvió Río La Patagua	112
Figura 31: Diseño de obra de desviación	113
Figura 32: Comprobación de dimensiones de tubería en obra de entrega	116
Figura 33: Disposición de Obra de Entrega de Embalse La Patagua	117
Figura 34: Disposición de Obra de Entrega de Embalse La Patagua	117
Figura 35: Disposición típica del muro	120
Figura 36: Disposición típica del muro	137



RESUMEN

Un embalse de regulación interanual es una obra hidráulica que dentro de un manejo integrado proponen el uso eficiente del recurso agua disponible en beneficio y desarrollo de la comunidad. Permite almacenar aguas en los meses que este recurso es abundante, para luego utilizarlo en los meses que escasea. En Chile estos embalses se ocupan generalmente para acumular aguas en los meses de otoño e invierno, principalmente de aguas provenientes de las lluvias, para luego ocuparlas en los meses de primavera y verano, meses en que la temporada agrícola es más fuerte en nuestro país.

La zona de El Carmen y La Higuera sufre año a año por periodos de sequias cada vez más extendidos, en estos momentos atraviesa por una escasez hídrica que se ha prolongado en el tiempo, siendo está decretada zona de catástrofe, que trae como consecuencia la baja productividad agrícola y el escaso abastecimiento de agua en los predios de la zona, por lo que se propone, ejecutar un estudio de factibilidad técnica – económica de un embalse de regulación interanual en el estero La Patagua.

El embalse de regulación interanual intervendrá el cauce del estero La Patagua mediante la construcción de un muro de tierra que permitirá la acumulación de agua. Además cabe señalar que la naturaleza gravosa de los suelos involucrados, hace necesario considerar, utilizar algún método de impermeabilización del muro aguas arriba en toda la superficie del muro para asegurar la impermeabilidad de ésta, para no tener problemas de filtración a través y debajo del muro, a la vez mitigando el riesgo de una posible inundación del área donde están ubicadas las comunidades beneficiarias de este sistema. Por lo tanto, la impermeabilización del muro será una variable que determinará

la efectividad de este sistema como método de almacenamiento de agua para regadío, de acuerdo a esto es necesario evaluar alternativas de solución para el problema de la impermeabilización del muro que resulta trascendental para evitar las infiltraciones y poder maximizar el almacenamiento del recurso hídrico y así satisfacer las demandas requeridas por los agricultores.

En general, los embalses de regulación se diseñan suponiendo muros no vertedores. En Chile, este tipo de embalses de regulación de temporada, que corresponden a una obra menor de riego, se diseñan con muros de tierra o muros en terraplén de tierra compactada, de sección trapecial, con un coronamiento de ancho adecuado y taludes de pendiente definida, de acuerdo a las características geotécnicas del material de relleno a utilizar para formar el muro; generalmente debe provenir de una zona de empréstito cercana, debidamente estudiada. Estos muros pueden ser de sección homogénea o de sección compuesta.

Para obtener una buena administración de los recursos y poder entregar en la justa medida el suministro a los agricultores de la zona, debemos contar con elementos que minimicen las pérdidas de agua en su almacenamiento, por lo que debemos proponer un sistema de impermeabilización óptimo de acuerdo a los alcances técnicos y económicos del estudio en cuestión; por esta razón se considera el análisis de dos alternativas para minimizar los efectos de infiltración a través y debajo del muro. Los productos a analizar lo definiremos de la siguiente manera:

A. **Lámina HDPE**

B. **Sistema ROCAMIX**



Por lo tanto se entregará a través de este proyecto, la alternativa de impermeabilización del muro que tenga una mejor relación Costo/Beneficios, reduzca las pérdidas de agua por infiltración a través del muro y asegura el agua para riego en los meses de escasez hídrica de los agricultores de la zona del Carmen y La Higuera.



ABSTRACT

A interannual reservoir regulation is a hydraulic work within an integrated management propose the efficient use of water resources available for the benefit and development of the community. Allows storage of water in the months that this resource is abundant, then use it in the months scarce. In Chile these reservoirs usually deal to accumulate water in the autumn and winter, mainly of water from the rains, then you occupy in the spring and summer months when the growing season is stronger in our country.

The area of El Carmen and La Higuera suffers every year for periods of drought increasingly widespread, there are currently experiencing a water shortage that has lasted over time, still it is decreed disaster area, which results in low agricultural productivity and low water on the premises of the area, so it is proposed to run a study of economic technical feasibility of an interannual regulating reservoir in the estuary La Patagua.

The interannual regulating reservoir intervene the bed of the estuary The Patagua with earthen wall that allow water accumulation.

It is also noted that the burdensome nature of the soils involved, it is necessary to use some method of waterproofing wall across the upstream surface of the dam to ensure the impermeability of the latter, to avoid problems of seepage through and below the wall, while mitigating the risk of possible flooding of the area where the beneficiary communities of this system are located. Therefore, waterproofing wall therefore be a variable that will determine the effectiveness of this system as a method of storing water for irrigation, according to this it is necessary to evaluate alternative solutions to the problem of waterproofing wall is transcendental to prevent infiltration and to maximize storage of water resources and to satisfy the demands required by farmers.



In general, regulating reservoirs are designed with no vertedoras dams. In Chile, this type of seasonal regulation reservoirs, corresponding to a minor irrigation works, are designed with earth dams or embankment walls compacted soil, trapezium-shaped with a crown of adequate width and slopes finite slope according to the geotechnical characteristics of the filling material used to form the wall; generally must come from an area close loan, properly studied. These walls can be homogeneous section or composed section.

For a good management of resources and to deliver just the right amount supplying farmers in the area, we have elements that minimize water losses in storage, so we propose an optimal waterproofing system according technical and economic scope of the study in question; therefore consider two alternative analysis to minimize the effects of infiltration through and below the dam. Items to analyze what we define as follows:

A. HDPE Sheet

B. ROCAMIX System

Therefore it will be delivered through this project, the alternative waterproofing wall having a Cost / optimal benefits, reduce water losses by infiltration through the wall and secure water for irrigation in the months of water shortage to farmers in the area of Carmen and La Higuera.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural renovable, escaso y esencial, cuya disposición depende del ciclo hidrológico: el agua de lluvia escurre por los cauces, se infiltra en los estratos de suelos y se evapora. Esta es utilizada en gran medida, para diferentes usos, uno de ellos es para el regadío de predios agrícolas.

En Chile, en especial desde el Norte Chico a la zona central del país, sufren cada año por la escasez de agua por periodos cada vez más prolongados. En los últimos años la comunidad de El Carmen y La Higuera, Provincia de Petorca en la V región, se ha visto afectada por las fuertes sequias en los periodos estivales. La grave escasez de agua que sufren los agricultores y que ya, poco a poco, comienzan a sentir sus habitantes, hizo que los organismos gubernamentales tomarán medidas extremas para ir en ayuda de la población. Por ello y luego de peticiones de autoridades comunales y parlamentarias, el gobierno decidió declarar zona de catástrofe a las comunas de Petorca y La Ligua por la grave escasez hídrica que sufren. Esto implica facilitar y simplificar los procedimientos para licitaciones públicas que estén directamente relacionadas con auxiliar a los agricultores de la zona con problemas de abastecimiento de agua y aumentar los recursos económicos destinados para mitigar los efectos de la escasez hídrica.

Una de las razones de la sequía en la zona, aparte del déficit de precipitaciones, corresponde a los excesivos derechos de agua permanente que otorgo la autoridad (DGA) y sumado que en 20 años, no se han realizado catastros y fiscalización alguna. A esto hay que sumar la inexistencia de embalses en la zona. De los sistemas de agua potable rural que se posee, gran



parte tiene problemas e incluso sin agua, el 75% de los agricultores no ha cosechado hace dos años. Este sector agrupa a un total de 224 predios con una superficie total de 1.077,34 hectáreas.

Esto trae como consecuencia la baja productividad agrícola y el escaso abastecimiento de agua en los predios de la zona, tanto para el consumo humano y para el uso agrícola, por lo que se propone, ejecutar un embalse de regulación interanual que intervendrá el cauce mediante la construcción de un muro de tierra, en el cual, se considera importante la variable de impermeabilización del muro, ya que, dada la naturaleza del suelo para construir el embalse, se deberá buscar alternativas para solucionar esta problemática, ya que, ante cualquier pérdida de agua que exista en el embalse, ésta resultará significativa e importante, por lo tanto, se propone la realización de un **Estudio comparativo a nivel de factibilidad técnico-económica para la implementación de sistemas de impermeabilización de un embalse de regulación interanual. Estudio aplicado al caso: embalse El Carmen – La Higuera provincia de Petorca, V región.**

Por lo anterior, la problemática de investigación se basará en la intervención de dicha zona con un embalse de regulación Interanual en el cauce del estero La patagua, que permitirá la acumulación de agua, la impermeabilización del muro por tanto será una variable que determinara la efectividad de este sistema como método de almacenamiento de agua para regadío. De acuerdo a esto es necesario evaluar alternativas de solución para la zona de El Carmen la Higuera, ejecutando un estudio de factibilidad técnica – económica de la construcción del embalse en dicha zona, que resulta trascendental para evitar las infiltraciones y poder maximizar el almacenamiento del recurso hídrico y así satisfacer las demandas requeridas por los agricultores.

1.2. OBJETIVO GENERAL

- Realizar estudio de factibilidad técnico económico de dos alternativas de impermeabilización utilizadas en muros de tierra de embalses.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudio de permeabilidad de los materiales para la construcción del muro y el suelo de fundación del embalse zona de El Carmen y la Higuera.
- Realizar análisis técnico - económico de dos alternativas de impermeabilización en muro de tierra: Lámina HDPE y Sistema Rocamix.
- Comparar en términos técnicos y económicos las alternativas de impermeabilización de muro de tierra.

Este estudio se inicia con la identificación del área de estudio y emplazamiento del embalse ubicado en la zona norte, el Carmen y La Higuera, en la Comuna de La Ligua, Provincia de Petorca, V Región, y las comunidades interesadas aledañas de Parceleros de dicha zona.

Posterior a esto, se realizarán estudios previos que consisten en estudios topográficos, mecánica y permeabilidad de los suelos para obtener los parámetros de diseño del embalse de regulación interanual. Con todos estos antecedentes ya expuestos se comienza a realizar la Ingeniería básica del embalse, donde se toman en consideración los dos métodos de impermeabilización del muro.



Luego a esto se realiza la evaluación técnico – económica de dos alternativas para el sistema de impermeabilización del muro (Lámina HDPE y Sistema Rocamix) y así ejecutar la comparación en términos económicos.

Por último se realizan conclusiones y recomendaciones de la alternativa de impermeabilización del muro que tenga una relación Costo/Beneficios óptima, que reduzca las pérdidas de agua por infiltración a través del muro y asegure el agua para riego en los meses de escasez hídrica a los agricultores de la zona del Carmen y La Higuera.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. EMBALSES DE REGULACIÓN INTERANUAL

2.1.1. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA OBRA

Los embalses de regulación interanual se construyen para embalsar el agua en los periodos en que sobra, para utilizarlas cuando escasea. Estos periodos pueden ser estacionales, anuales o más largos.

En Chile, estas obras se utilizan generalmente para acumular aguas provenientes de las lluvias de otoño e invierno para utilizarlas en los meses siguientes, de primavera y verano (meses de temporada agrícola).

2.1.2. PRINCIPALES COMPONENTES DE UN EMBALSE

2.1.2.1. MURO DE EMBALSE

El muro de embalse es una estructura que se construye sobre el cauce natural que se desea regular, impidiendo de esta manera el escurrimiento superficial de las aguas, lo cual produce una acumulación de dicho recurso en el pozo de inundación que se forma.

Existen diferentes tipos de muros, los muros de tierra homogénea o muros simples que se construyen únicamente con suelos o materiales de relleno, que sean a la vez estables y relativamente impermeables, en cambio, los muros de sección compuesta o zonificados tienen un núcleo central impermeable, zonas de transición a ambos lados del núcleo y espaldones y delantales bajo los taludes de aguas arriba y aguas abajo, como se muestra en la siguiente figura:

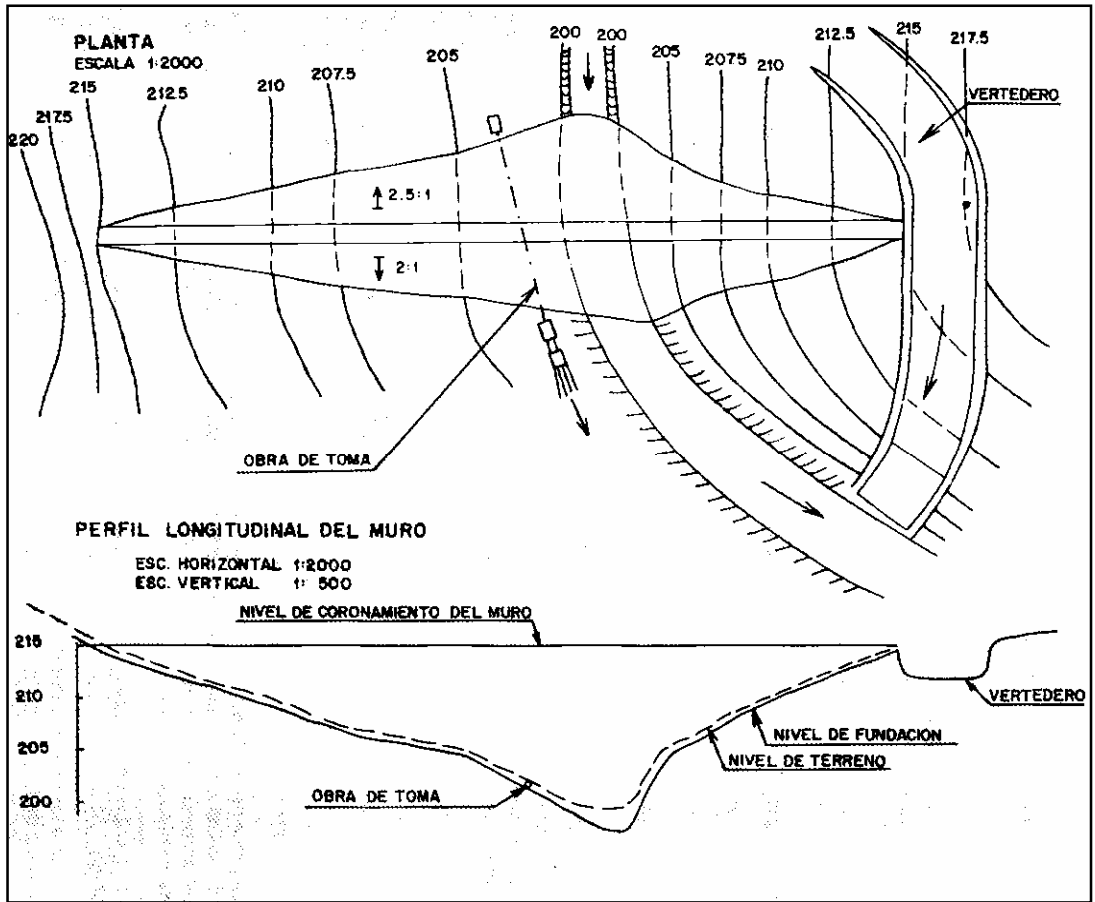


Figura 1: Muro tipo de embalse de regulación. [Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (1996). *Manual de Obras Menores de Riego*. Santiago, Chile: [s.n].]

Generalmente, los embalses pequeños de tierra se diseñan de modo que se pueda controlar la filtración de agua a través del muro y/o de su fundación, ya sea por medio de un núcleo impermeable y/o de un delantal impermeable bajo el talón de aguas arriba.

2.1.2.2. POZO DE INUNDACIÓN O DE ALMACENAMIENTO

El pozo de inundación o de almacenamiento del embalse es la cavidad que se forma aguas arriba del muro y en la cual se acumula agua y sedimentos

provenientes de la cuenca aportante a dicho embalse. Las características físicas más importantes del depósito son: capacidad de almacenamiento y la superficie inundada. Según lo muestra la siguiente figura 2:



Figura 2: Depósito de almacenamiento. [Fuente: *Vertedero con canal lateral*, recuperado el 10 de enero del 2015, de <http://mispropiascosas.blogspot.com/2010/01/embalse-del-rumblar-banos-de-la-encina.html>]

Las partes de un embalse se indican en la figura 3.

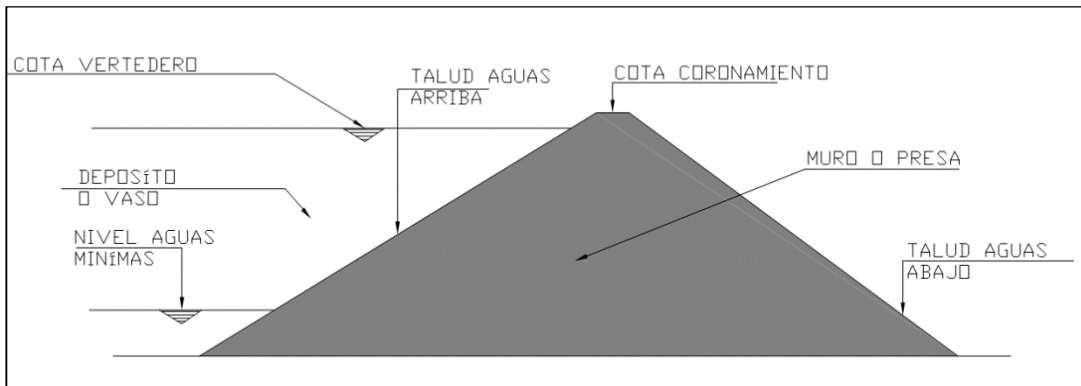


Figura 3: Corte típico de muro. [Fuente: Elaboración propia]

Cota de nivel de aguas mínimas: Es la mínima altura a la cual operará el embalse en condiciones normales. Dicho nivel mínimo corresponde al nivel de ubicación de la obra de toma. Bajo el nivel mínimo se almacenará el volumen de aguas y sedimento denominado volumen de aguas muertas, en la cual se acumularán los sedimentos durante la vida útil del embalse. Esta cota permite

prever un volumen de aguas muertas, el cual debe considerarse en el embalse, y se recomienda que sea un valor del 10% del volumen total del depósito, que se produce por arrastre de partículas de tierra, agregados pétreos, fragmentos de roca y otros materiales.

Cota de nivel normal máximo de aguas: Para un embalse con vertedero convencional, que opera gravitacionalmente, la cota de nivel máximo es la que genera volumen útil. Este volumen útil se determina después de conocer la topografía del pozo de inundación y la cota de coronamiento del embalse.

Cota de coronamiento: La cota de coronamiento del muro se determina a través de la siguiente expresión: Cota de coronamiento = cota de vertedero + cota de aguas (crecidas) + altura de ola + revancha de seguridad.

La cota de vertedero: Corresponde a la cota del nivel normal máximo de aguas definida anteriormente. La altura de crecida se determina utilizando la curva de crecida, para el período de retorno que se debe considerar para el embalse en estudio. Además, se calcula la regulación que se produce para cada longitud evacuadora del vertedero, siguiendo la curva de crecida cada 0, 5 ó 1 hora, e integrando los incrementos de altura de agua (Δh), que se acumulan en el pozo de inundación, considerando la evacuación a través del vertedero.

Altura de la ola: Esta altura de ola corresponde a la que se obtiene del supuesto que ocurra un temporal de viento, que produzca olas que podrían sobrepasar el muro de tierra. La fórmula de Stevenson cuantifica este fenómeno.

$$h_{ola} = 0,76 + 0,032 * \sqrt{v * F} - 0,27 * F^{0,25} (m) \quad (1)$$



Dónde:

V : velocidad del viento; km/hora

F : Fetch (km)

h_{ola} : altura de ola, (m)

Fetch : es la distancia en la cual el viento puede actuar sobre la masa de agua en un embalse, en general se toma la mayor distancia que hay entre la ribera y el muro que se proyecta.

Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (1996). *Manual de Obras Menores de Riego*. Santiago, Chile: [s.n].

2.1.2.3. VERTEDERO DE CRECIDAS CON CANAL LATERAL

El vertedero de un embalse es una obra hidráulica, cuya función es evacuar el agua excedente, para mantener el nivel máximo de aguas normales en el depósito y descargar los caudales de avenidas o crecidas sin dañar el embalse.

El vertedero debe tener la capacidad necesaria y suficiente para permitir las descargas, desde el embalse hacia el cauce natural. Además, el vertedero debe ser hidráulico y estructuralmente adecuado, y debe estar localizado de manera que las descargas no erosionen ni socaven el talud de aguas bajo del embalse.

Los vertederos pueden diseñarse con compuertas o sin ellas. Para embalses pequeños es conveniente adoptar vertederos sin compuertas, debido a su facilidad de construcción, operación automática y menor costo de mantención.

El vertedero con canal lateral es una estructura en la cual el escurrimiento después de pasar por el vertedero lateral, cae a un canal de eje paralelo al vertedero.

Las partes componentes de los vertederos con canal lateral son las siguientes:

- **Estructura de control:** Regula y controla las descargas del depósito. Esta estructura consiste en una cresta lateral con la cual se disipa la energía. Esta estructura se aproxima al tipo ideal de vertedero; en la cual, el agua debe pasar guiada suavemente sobre la cresta con el mínimo de turbulencia. La lámina de agua se adhiere al paramento del perfil y es guiada sobre la superficie de talud del canal de descarga.
- **Canal de descarga:** Conduce las aguas descargadas por la estructura de control hacia el cauce natural, aguas abajo del embalse. La estructura de conducción puede ser un canal excavado en una de las laderas, en los extremos del muro. El perfil longitudinal del canal puede tener poca pendiente o pendiente fuerte. La sección del canal puede ser rectangular o trapecial y se construye de hormigón armado, para soportar las solicitaciones producidas sobre la estructura.
- **Estructura terminal:** La energía hidráulica producida por el agua, al caer desde el nivel de aguas máximas de crecida del depósito hasta el lecho del cauce natural, se convierte en energía cinética que se manifiesta en altas velocidades; las cuales, si se trata de disminuirlas, producen grandes presiones sobre las estructuras. Por este motivo debe diseñarse una estructura terminal que permita descargar el agua en el cauce natural, sin erosiones o socavaciones peligrosas en el talud del muro, y que no produzcan daños en las estructuras vecinas. Existen muchos

tipos estructuras terminales que se pueden adoptar, tales como: estanques, amortiguadores, deflectores, trampolines, etcétera.



Figura 4: Vertedero con canal lateral. [Fuente: *Vertedero con canal lateral*, recuperado el 10 de enero del 2015, de <http://mispropiascosas.blogspot.com/2010/01/embalse-del-rumblar-banos-de-la-encina.html>]

Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (1996). *Manual de Obras Menores de Riego*. Santiago, Chile: [s.n].

2.1.2.4. EJE HIDRÁULICO DEL VERTEDERO CON CANAL LATERAL

La teoría del funcionamiento de los vertederos laterales se basa principalmente en la ley de conservación de la energía, suponiendo que las únicas fuerzas que producen movimiento en el canal provienen de la caída de la superficie del agua en la dirección del eje. En esta premisa se supone que toda la energía del agua que pasa por la cresta se disipa a mezclarse con el agua del canal y, por lo tanto, no interviene para mover el agua a lo largo del canal. La velocidad axial se produce solamente después de que las partículas del agua que llega se unen a la corriente del canal.

El flujo sobre el talud de aguas abajo del vertedero evacuador de crecidas se determina aplicando la metodología que se presenta a continuación para flujos gradualmente variado. Ello corresponde al análisis de cauces con variaciones de pendiente, sección o material, que implican un cambio gradual, y no brusco, de las condiciones hidráulicas. En tal caso, la revisión del eje hidráulico (E.H.) se realiza considerando conservación de energía. Para ello se considera el esquema de la figura 5.

Una de las metodologías más conocida y utilizada es la del paso estándar, en la que los niveles de agua son calculados desde una sección a otra resolviendo la ecuación de energía en forma iterativa:

$$Z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2)$$

Dónde:

- h_1, h_2 : Profundidad de agua en las secciones transversales (m).
- Z_1, Z_2 : Cota de fondo de las secciones transversales (m).
- V_1, V_2 : Velocidades promedio en las secciones transversales (m/s).
- α_1, α_2 : Coeficiente de distribución de velocidades de Coriolis.
- g : Aceleración de gravitación universal (m/s^2).
- h_e : Pérdida de carga (m).

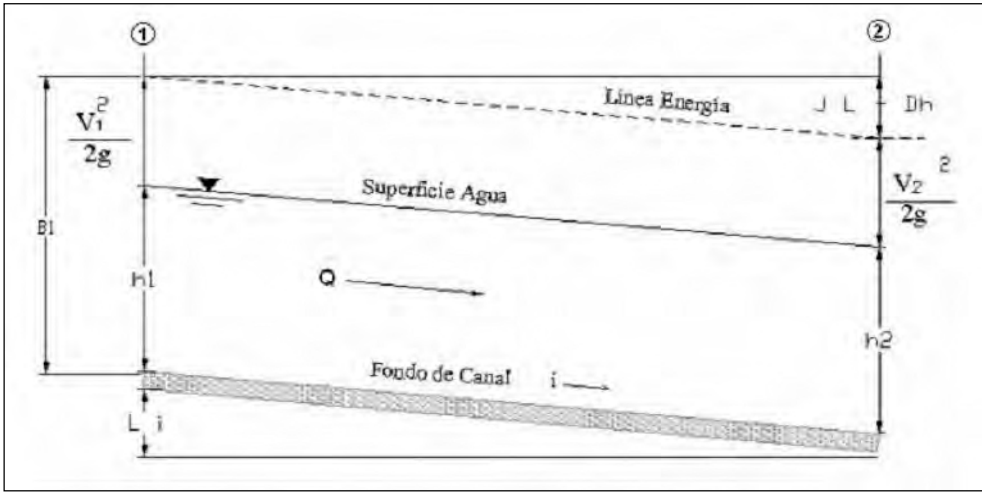


Figura 5: Esquema para el cálculo de eje hidráulico en flujo gradualmente variado. [Fuente: Domínguez, Francisco Javier. (1945). *Curso de hidráulica*. Santiago, Chile: Segunda edición ampliada]

La pérdida de carga (h_e) entre dos secciones es evaluada como pérdida friccional más la pérdida por contracción o expansión (pérdidas singulares). La ecuación para la pérdida de carga es la siguiente:

$$h_e = \langle J \rangle * L + C * \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (3)$$

Dónde:

L : Distancia entre secciones transversales (m).

$\langle J \rangle$: Pendiente de la pérdida de carga entre dos secciones transversales (m/m).

C : Coeficiente de contracción o de expansión.

Los coeficientes de contracción y expansión dependen de la naturaleza de la transición. En una obra de descarga las transiciones o cambios geométricos son graduales, por lo que no se incurre en altas pérdidas y por lo tanto se pueden despreciar. Se consideró al promedio aritmético para calcular la pendiente de pérdida de carga entre dos secciones. (Domínguez, 1945)

$$\langle J \rangle = \frac{J_1 + J_2}{2} \quad (4)$$

La pendiente de la pérdida de carga en cada sección, se calcula según la ecuación tradicional de Manning.

$$Q = \frac{\sqrt{J} \cdot A \cdot R^{2/3}}{n} \quad (5)$$

Se contempla un tipo de superficie, canal revestido en hormigón. El coeficiente de Manning (n) adoptado es 0,016.

Se proyectó una obra de sección rectangular, por lo que el radio hidráulico (R), área (A) y perímetro mojado (P) se definen como:

$$T = B \quad A = h \cdot B \quad P = 2 \cdot h + B \quad R = A / P \quad (6)$$

El proceso iterativo para determinar la altura de agua a partir de las ecuaciones (2) y (3), consiste en:

- 1) Debido a que se está calculando un eje supercrítico, considerar una cota de superficie libre en la sección aguas arriba.
- 2) En base a la cota de superficie libre considerada, se determina la altura de velocidad y pendiente.
- 3) Con estos valores se determina la pendiente de pérdida de carga promedio ($\langle J \rangle$) entre las dos secciones.
- 4) Con los valores anteriores se resuelve la ecuación (2) para determinar la cota de superficie libre.

- 5) Se compara el valor obtenido del cálculo con el considerado en el paso (1). Se repiten los pasos (1) a (5) hasta alcanzar una precisión aceptable ($e < 0,003$ m)

El valor a utilizar en la nueva iteración se obtiene mediante el método de la secante, en la que se proyecta la tasa de cambio de la diferencia entre el valor calculado y el valor supuesto.

Fuente: Domínguez, Francisco Javier. (1945). *Curso de hidráulica*. Santiago, Chile: Segunda edición ampliada.

2.1.2.5. OBRA DE ENTREGA

La obra de entrega es el conjunto de estructuras del embalse, que permite extraer el agua en forma controlada para poder utilizarla, con el fin que ha sido proyectado su aprovechamiento.

Las obras de entrega pueden clasificarse de acuerdo a lo siguiente:

- Objeto de la obra (salida a cauce natural, salida a canal, etcétera).
- Forma Física o Estructural (cauce abierto, túnel, conducto cerrado, etcétera).
- Operación hidráulica (tubería a presión, cauce gravitacional, obra con o sin compuertas, etcétera).

Los componentes de la obra de entrega son:

- **Estructura de toma:** consiste en una cámara de entrada, con rejilla removible en la boca de acceso de las aguas, y con unión flexible en el cabezal de la tubería en la salida de las aguas. Esta cámara se

construye de hormigón armado y sus dimensiones son mínimas, pero debe tener capacidad para que pueda trabajar un hombre en su interior. Además, debe tener una ranura que permita instalar eventualmente una hoja de compuerta en la entrada de la tubería. La estructura de toma se ubica en el fondo del embalse, en la cota o nivel mínimo útil del embalse.

- **Tubería de conducción:** consiste en un conducto cerrado a presión, que se coloca enterrado a través del muro. La ubicación de este conducto más conveniente, a lo largo del muro, es en sus extremos, donde la presión del embalse sobre el terreno natural es mínima, o menor que en el centro donde la muro tiene mayor altura.
- **Dispositivos de control:** que se instalan en los embalses pequeños son generalmente válvulas de regulación y de cierre. Las compuertas pueden ser de acero protegido o de fierro fundido. Las válvulas de mariposa y válvulas de compuesta son adecuadas cuando el punto de control está ubicado en el extremo de aguas abajo de la tubería a presión y si la tubería está diseñada para operar con descarga libre. La válvula de regulación permite descargar gastos especificados de agua desde el embalse. Si la válvula de regulación está ubicada a la salida de la tubería a presión, es conveniente colocar antes de ella una válvula de cierre o abertura total, que se usa solamente en el caso de falla de válvula de regulación. Las válvulas se instalan en una cámara de válvulas a la salida de la tubería de conducción y antes de la estructura terminal.
- **Estructura terminal o disipadora:** consiste en una cámara de salida, en la cual descarga la tubería de conducción. El chorro de agua se disipa en un pozo vertical amortiguador de la cámara, en la cual se forma el colchón de agua. La salida de la cámara consiste en una sección de

canal rectangular, con aletas y guardaradier, que empalma con el canal derivado del embalse. Si es necesario se coloca un pedraplén, de tres metros de longitud, a la salida de la cámara, para evitar la socavación del fondo del canal.

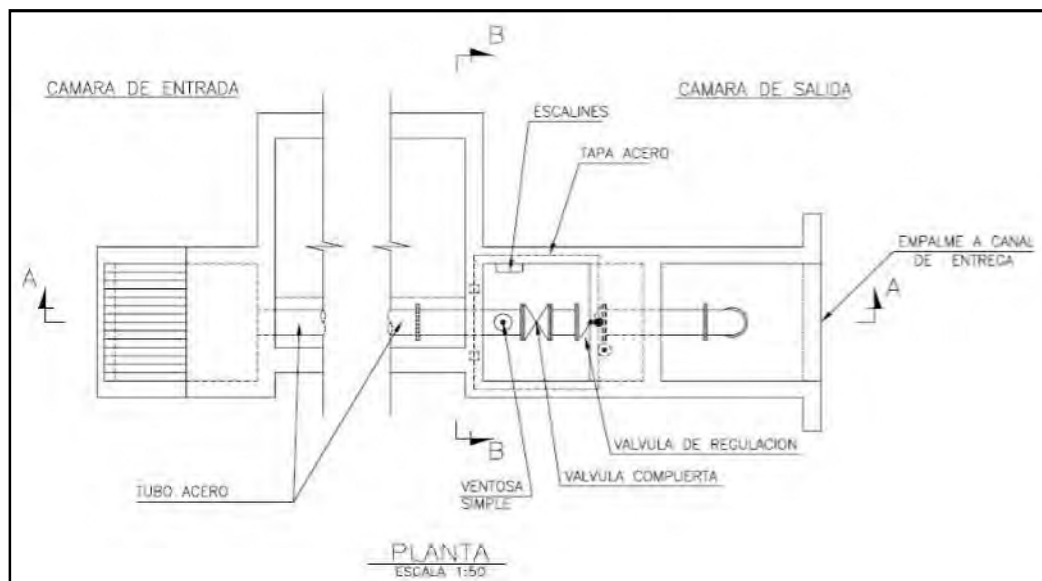


Figura 6: Disposición Obras de Entrega (planta).

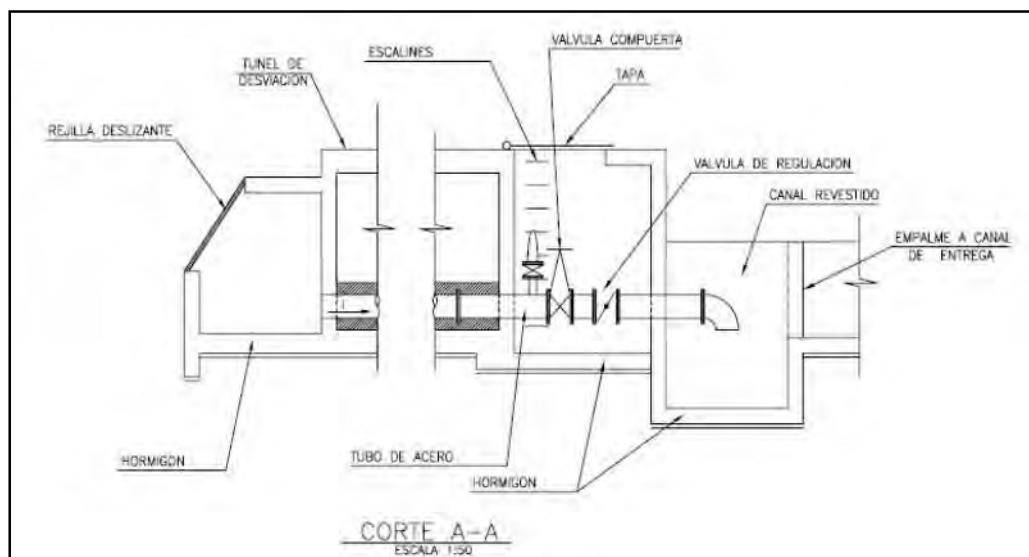


Figura 7: Disposición de Obras de Entrega (Corte A-A). [Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (1996). *Manual de Obras Menores de Riego*. Santiago, Chile: [s.n].]

En las figuras 6 y 7 se puede apreciar cada uno de los componentes principales de la obras de entrega. Comenzando por la obra de toma, que consiste básicamente en una estructura por donde se internará el agua para su regulación; luego estará dispuesta la tubería de conducción, en la cual guiará el agua desde la obra de toma hacia los dispositivos de control, está tendrá una pequeña pendiente, con esto se logrará que el agua recorra toda la tubería por gravedad; los dispositivos de control, regulará el recurso agua de acuerdo a las demandas de los agricultores y finalmente se tendrá la estructura terminal que disipara la energía.

2.1.3. VOLUMENES DE ACUMULACIÓN Y SUPERFICIE DE INUNDACIÓN

Después de hacer las exploraciones de terreno, combinadas con la confección de planos topográficos, conocida la mecánica de suelos y necesidades de aguas, se elige el lugar más adecuado para localizar el muro del embalse. Se selecciona el lugar de emplazamiento del muro y se establece una topografía preliminar de él, la cual se proyecta sobre el plano que abarca toda la cuenca de inundación, y así se puede obtener para cada curva de nivel topográfico la superficie correspondiente y también se obtiene la relación de altura versus superficie de inundación. A continuación, conocida la función anterior y empleando el concepto de integración, se puede graficar altura de agua versus volumen acumulado. Para este efecto, se puede utilizar la siguiente fórmula para determinar el volumen parcial de agua entre dos niveles: 1 y 2.

$$Vol. parcial = \frac{(A1+A2+\sqrt{A1*A2})}{3} * K [m^3] \quad (7)$$

Siendo A1 y A2 las superficies inundadas en los niveles 1 y 2 en m², y k la diferencia de nivel entre ambas superficies en metros.

2.1.4. NORMAS Y CRITERIOS DE DISEÑO

Los embalses de regulación interanual corresponden, en general, a las obras hidráulicas denominadas “embalses pequeños” (small dams), las cuales tienen muros de baja altura (inferior a 15 m o 50 pies de altura) y volumen de almacenamiento pequeño o mediano, y están asociados a corrientes naturales pequeñas (esteros o quebradas) y a cuencas hidrográficas de extensión limitada. Además, el volumen de tierra del muro debe ser inferior a 764.000 m^3 (un millón de yardas cúbicas).

Por otra parte, los embalses de regulación interanual se pueden clasificar en las categorías A y B del reglamento que fija normas técnicas para el proyecto. Construcción y operación de obras hidráulicas que requieran de la aprobación de la Dirección General de Aguas (Art. 294, libro tercero, del Código de Aguas de Chile). En dicho reglamento, las categorías de embalses son las siguientes:

Categoría A: De capacidad de almacenamiento entre 50 mil y 1,5 millones de metros cúbicos, o cuyo muro tenga una altura de más de 5 metros y hasta 12 metros.

Categoría B: De capacidad de almacenamiento mayor de 1,5 millones de metros cúbicos y hasta 50 millones de metros cúbicos, o cuyo muro tenga una altura mayor de 12 metros y hasta 30 metros.

Categoría C: De capacidad de almacenamiento sobre 50 millones de metros cúbicos o cuyo muro tenga una altura mayor de 30 metros.

La altura del muro se establece de la diferencia de alturas entre el punto más bajo del talud de aguas debajo del muro y el nivel máximo de almacenamiento.

Finalmente, también el diseño de este tipo de embalses debe regirse por lo establecido en las bases técnicas de las “Bases de Concursos Públicos de la



Comisión Nacional de Riego y Drenaje de Chile”, para optar a la bonificación a la inversión privada en obras de riego y drenaje (Ley N° 18.450).

Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (1996). *Manual de Obras Menores de Riego*. Santiago, Chile: [s.n].

2.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Conocer el tipo a través de una clasificación en un método estandarizado es un factor de vital importancia al momento de diseñar una obra de la envergadura de un embalse de regulación interanual, para ello se necesita tener la clasificación del suelo y sus parámetros en forma certera, ya que con estos antecedentes se pueden definir los criterios a utilizar al momento de diseñar. Para definir los parámetros básicos de diseño del embalse de regulación se utilizarán el sistema AASHTO y USCS, los cuales se detallan a continuación:

2.2.1. SISTEMA AASHTO

El Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) introdujo en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación, para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras. En 1945 fue modificado y a partir de entonces se le conoce como Sistema AASHO y recientemente AASHTO.

Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo", el cual se calcula por la fórmula empírica:

$$IG = (F - 35) (0,2 + 0.005 (WI - 40)) + 0,01 (F - 15) (IP - 10). \quad (8)$$

En que:

- F : Porcentaje que pasa por 0.08 mm, expresado en números enteros basado solamente en el material que pasa por 80 mm.
- WL : Límite Líquido.
- IP : Índice de Plasticidad (Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0).

El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases. Disponiendo de los resultados de los ensayos requeridos, proceda en la Tabla 1 de izquierda a derecha y el grupo correcto se encontrará por eliminación. El primer grupo desde la izquierda que satisface los datos de ensaye es la clasificación correcta. Todos los valores límites son enteros, si alguno de los datos es decimal, se debe aproximar al entero más cercano.

El valor del índice de grupo debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.

Este método define:

- Grava: material que pasa por 80 mm y es retenido en tamiz de 2 mm.
- Arena gruesa: material comprendido entre 2 mm y 0.5 mm
- Arena fina: material comprendido entre 0,5 y 0,08 mm.
- Limo arcilla: material que pasa por tamiz 0,08 mm.

El término material granular se aplica a aquellos con 35% o menos bajo tamiz 0,08 mm; limoso a los materiales finos que tienen un índice de plasticidad de 10 o menor; y arcilloso se aplica a los materiales finos que tienen índice de



plasticidad 11 o mayor. Materiales limo arcilla contienen más del 35% bajo tamiz 0,08 mm.

Cuando se calcula índices de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, use solamente el término del índice de plasticidad de la fórmula.

Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar (0).

Si un suelo es altamente orgánico, puede ser clasificado como A-8 sólo con una inspección visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto.

Tabla 1: Tabla de clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: *Clasificación de suelos según AASHTO*, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO

2.2.2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO USCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra.

Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm; se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm, y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz 5 mm.

A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la graduación: W, buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz 0,08 mm, se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O).

Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor. Para mayor comprensión se describirá el procedimiento de clasificación:

2.2.2.1 PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANOS GRUESOS (MÁS DE 50% RETENIDO EN 0,08 MM)

Una vez efectuados los ensayos de clasificación, se determina la distribución acumulativa de los tamaños de las partículas y se clasifica la muestra como grava (G), si el 50%, o más de la fracción gruesa ($> 0,08$ mm) es retenida en tamiz 5 mm, y se clasifica como arena (S), si más del 50% de la fracción gruesa ($> 0,08$ mm) pasa por tamiz 5 mm. Si menos del 5% en peso de la muestra pasa por tamiz 0,08 mm, se calcula:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{y} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (9)$$

Se Clasifica la muestra como grava bien graduada (GW), o arena bien graduada (SW), si C_u es mayor que 4 para las gravas y mayor que 6 para las arenas, y C_c está comprendido entre 1 y 3.

Se clasifica la muestra como grava pobremente graduada (GP), o arena pobremente graduada (SP), si no se satisfacen simultáneamente los criterios de C_u y C_L para bien graduada.

Si más que el 12%, en peso, de la muestra de ensaye pasa por 0,08 mm, se analizan los valores del límite líquido (wL) e índice de plasticidad (IP) mediante la línea "A" de la carta de plasticidad.

Se clasifica la muestra como grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, es decir, si al dibujar wL versus IP, este punto cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4.

Se clasifica la muestra como grava arcillosa (GC), o arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos, es decir, si al dibujar w, versus IP, cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7.

Si el punto del límite líquido versus índice de plasticidad cae prácticamente en la línea "A" o está sobre esta línea, pero el índice de plasticidad está comprendido entre 4 y 7, dé clasificación doble tal como GM-GC o SM-SC.

Si pasa por tamiz 0,08 mm del 5 al 12% de la muestra, el suelo llevará clasificación doble, basada en los criterios de graduación y límites de consistencia, tales como GW-GC o SP-SM. En casos dudosos, la regla es favorecer a la clasificación de menos plasticidad. Por ejemplo una grava con 10% de finos, un C_u de 20, C_L de 2,0 y un índice de plasticidad de 6, será clasificado como GW-GM en vez de GW-CG.

2.2.2.2. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANOS FINOS (50% O MÁS PASA POR 0,08 MM)

Se clasifica el suelo como una arcilla inorgánica (C), si al dibujar el punto del límite líquido versus índice de plasticidad, éste cae sobre la línea "A" y el índice de plasticidad es mayor que 7.

Si el límite líquido es menor que 50 y el punto wL versus IP cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7, se clasifica como arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL), y como arcilla de alta plasticidad (CH) si el Límite Líquido es mayor que 50 y el punto wL versus IP cae sobre la línea A (Carta de plasticidad fig. 2.8). En caso que el límite líquido exceda a 100 o el IP exceda a 60, expanda la carta de plasticidad manteniendo las mismas escalas y pendiente de la línea "A".

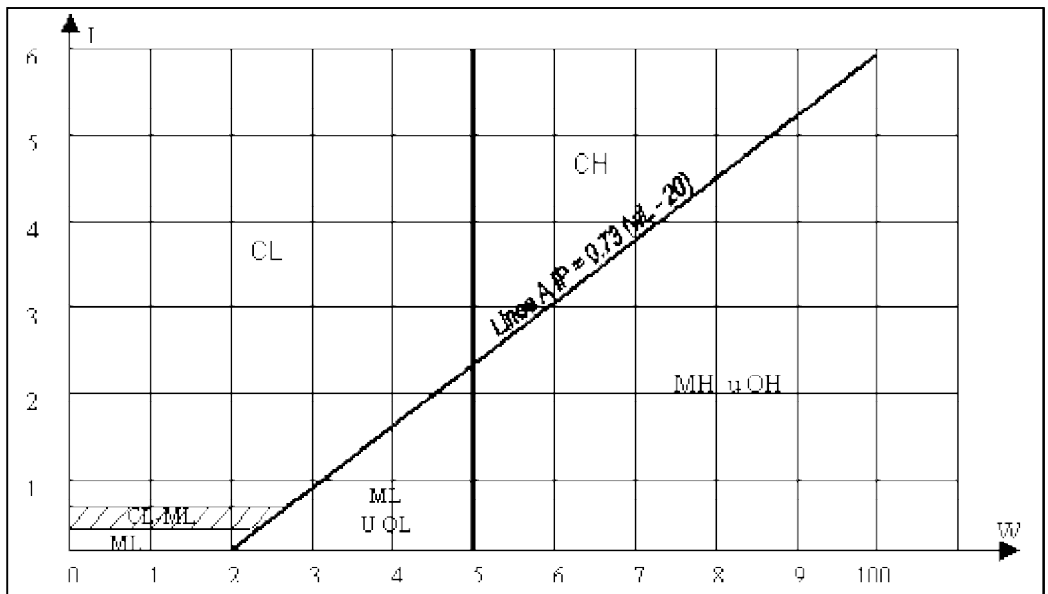


Figura 8: Carta de Plasticidad [Fuente: Carta de Plasticidad, Recuperado el 03 de enero del 2015, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>]

Se clasifica el suelo como limo inorgánico (M), si al dibujar el punto wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4, a menos que se sospeche que hay materia orgánica presente en cantidades suficientes como para influir en las propiedades del suelo (suelo de color oscuro y olor orgánico cuando está húmedo y tibio), en cuyo caso se debe efectuar un segundo límite líquido con la muestra de ensaye secada al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Se clasifica como limo o arcilla orgánicos (O), si el límite líquido después del secado al horno, es menor que 75% del límite líquido de la muestra original determinado antes del secado.

Se clasifica el suelo como limo inorgánico de baja plasticidad (ML), o como limo o limo arcilla orgánicos de baja plasticidad (OL), si el límite líquido es menor que 50 y al dibujar w_L versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

Se clasifica el suelo como limo inorgánico de media a alta plasticidad (MH), o como una arcilla u limo arcilla orgánico de media a alta plasticidad (OH), si el w_L es mayor que 50 y el punto dibujado de w_L versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

Con el fin de indicar sus características de borde, algunos suelos de grano fino deben clasificarse mediante simbología doble. Si el punto dibujado del w_L versus IP cae prácticamente en la línea "A" o sobre la línea "A" donde el Índice de Plasticidad tiene un rango de 4 a 7, el suelo debe tener clasificación doble tales como CL-ML o CH-OH. Si el punto dibujado de w_L versus IP cae prácticamente en la línea del límite líquido igual a 50, el suelo deberá tener clasificación doble tales como CL-CH o ML-MH.

En casos dudosos la regla de clasificación favorece al más plástico. Por ejemplo, un suelo fino con un $w_L = 50$ y un índice de plasticidad de 22 se deberá clasificar como CH-MH en lugar de CL-ML.

Este sistema fue adoptado por el U.S. Army Corps of Engineers en 1942 y en 1947 le introdujo algunos límites para evitar doble clasificación. En 1952, el Cuerpo de Ingenieros en conjunto con el Bureau of Reclamation y asesorados por el Dr. Casagrande efectuaron las últimas modificaciones.

Basados en observaciones de terreno y ensayos de Laboratorio de materiales de base para caminos y aeropuertos, el Cuerpo de Ingenieros subdividió los



grupos GM y SM en dos grupos, designados por los sufijos "d" y "u", que han sido escogidos para representar a materiales que son convenientes o no, respectivamente, para ser empleados en bases de caminos y aeropuertos. Símbolos típicos son GM, y SM.

Se emplea el sufijo "d" cuando el límite líquido es menor o igual a 25 y el índice de plasticidad menor o igual a 5.

Tabla 2: Sistema de Clasificación USCS (a)

SISTEMA CLASIFICACION USCS			
FINOS (? 50 % pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. wl	Indice de Plasticidad * IP
Limos Inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (wl – 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (wl – 20)
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (wl – 20) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (wl – 20)
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	< 50	** wl seco al horno ? 75 % del wl seco al aire
	OH	> 50	
Altamente Orgánicos	P ₁	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si IP \cong 0.73 (wl – 20) ó si IP entre 4 y 7 E IP > 0.73 (wl – 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente wl seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej CH-MH en vez de CL-ML.			
Si wl = 50; CL-CH ó ML-MH			

Fuente: Clasificación de suelos según Sistema USCS, Recuperado el 05 de enero del 2015, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>

Tabla 3: Sistema de Clasificación USCS (b)

SISTEMA CLASIFICACION USCS						
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% RET 5 mm.	% Pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	? 50% de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			? 6	<16>3	
	GM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	GC					> 0.73 (wl-20) ó >7
Arenas	SW	< 50% de lo Ret. En 0.08 mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			? 6	<16>3	
	SM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	SC					> 0.73 (wl-20) y >7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM,SW-SM, SP-SC.						
** Si IP≅ 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (wl-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$CU = \frac{\varnothing 60}{\varnothing 10}$				$CC = \frac{\varnothing 30^2}{\varnothing 60 * \varnothing 10}$		

Fuente: Clasificación de suelos según Sistema USCS, Recuperado el 05 de enero del 2015, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>

2.3. PERMEABILIDAD DEL SUELO

La permeabilidad corresponde a la propiedad de un suelo que permite el paso del agua a través de sus vacíos, bajo la acción de una carga hidrostática. No todos los suelos tienen la misma permeabilidad, de ahí que se los haya dividido en suelos permeables e impermeables, estos últimos son generalmente suelos arcillosos, donde la cantidad de escurrimiento del agua es pequeña y lenta. El movimiento del agua del suelo depende de los flujos del agua, y este a su vez depende de un balance energético llamado gradiente hidráulico. La permeabilidad representa la resistencia que ofrece el suelo al flujo de un fluido. El parámetro que determina esta propiedad es el coeficiente de permeabilidad k y se basa en la aplicación de la ley de Darcy.

Basándose en sus trabajos sobre la mecánica de fluidos, el ingeniero francés Henry Darcy (1803-1858) descubrió que existe una relación entre la cantidad de agua que fluye a través de una superficie, el área de esta superficie y el gradiente hidráulico.

Como resumen de sus trabajos se puede expresar la "ley de Darcy" en la forma:

$$Q = \frac{dV}{dt} = k * A * i \quad (10)$$

Con

$$i = \frac{h}{l} \quad (11)$$

O también

$$k = \frac{Q}{A * i} \quad [cm/s] \quad (12)$$

Dónde:

k = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

Q = Caudal de agua (cm³/s)

A = Área de la sección de muestra (cm²)

i = Gradiente hidráulico (H/L)

Por definición la determinación de “k” sólo es posible para un régimen de flujo laminar pero no para un régimen de flujo turbulento.

Algunos ejemplos para los rangos del coeficiente de permeabilidad “k” (en cm/s) para distintos tipos de suelo no consolidados se muestra la Tabla 4.

Tabla 4: Tabla de valores relativos de permeabilidad.

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/seg)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 * 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 * 10^{-1}$ a $1 * 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco permeable	$1 * 10^{-3}$ a $1 * 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	$1 * 10^{-5}$ a $1 * 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 * 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: Karl Terzaghi y Ralph B. Peck (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. 2° edición.

Independiente de lo anterior, existen factores que influyen en la permeabilidad de un suelo, como por ejemplo:

1. La relación de vacíos del suelo: El espacio de los vanos es proporcional al tamaño de la partícula. En otras palabras, a mayor tamaño mayor cantidad de vanos.
2. La estructura y estratificación del suelo: En un suelo se pueden encontrar diferentes permeabilidades en estado inalterado y remoldeado, aun cuando la relación de vacíos sea la misma en ambos casos; esto puede ser debido a los cambios en la estructura y estratificación del suelo inalterado o una combinación de los factores. La permeabilización sufre variaciones debido a que en el remoldeo quedan libres algunas partículas del suelo y al fluir el agua, esta las mueve y las reacomoda, tapando los canales o arrastrándolas a la superficie o al exterior de la muestra causando turbidez en el agua.

3. **Tamaño de las partículas:** La permeabilidad de un suelo será más baja cuando más pequeñas sean sus partículas y por ende menor serán los vacíos que forman los canales de flujo. La permeabilidad en algunos suelos es provocada por arrastre de sus finos, causando filtración.
4. **Grado de saturación:** Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de una muestra de suelo; cuan mayor sea el grado de saturación mayor será la permeabilidad, debido a la reducción en los canales disponibles al flujo del agua.
5. **Densidad del suelo:** La densidad relativa es una propiedad índice de los suelos y se emplea normalmente en gravas y arenas, es decir, en suelos que contienen casi exclusivamente partículas mayores a 0.074 mm (malla #200). La densidad relativa es una manera de indicar el grado de compactación (compactación) de un suelo y se puede emplear tanto para suelos en estado natural como para rellenos compactados artificialmente.
6. **Peso específico:** En un suelo real es normal que los minerales de fracciones muy finas y coloidales tengan su peso específico mayor que los minerales de la fracción más gruesa. A mayor peso específico será menor la permeabilidad

Fuente: Karl Terzaghi y Ralph B. Peck (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. 2° edición.

2.3.1. MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD

Existen varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de los suelos, los podemos dividir básicamente en dos grupos: los “directos”, porque se basan en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición del coeficiente de permeabilidad, y otros “indirectos”, ya que proporcionan el valor del coeficiente de permeabilidad en forma secundaria, es decir, por medio de pruebas y técnicas diseñadas para otros fines. Los métodos son los siguientes:

a) Directos:

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Prueba directa en los suelos del lugar de estudio. Medición por introducción de un tubo de diámetro conocido en el terreno.

b) Indirectos:

- Cálculo a partir de la curva granulométrica.
- Cálculo a partir de la prueba de consolidación.
- Cálculo con la prueba horizontal de capilaridad.

A continuación se describe en detalle el método directo utilizado en terreno para determinar el coeficiente de permeabilidad.

En laboratorio, la medida del coeficiente de permeabilidad se realiza por medio de permeámetros, los que pueden ser de nivel constante o nivel variable dependiendo del tipo de suelo analizado. La importancia de este coeficiente, es vital para poder determinar por ejemplo: la capacidad de retención de aguas de embalses de tierra, la capacidad de las bombas para rebajar el nivel freático en

una excavación y para poder determinar la velocidad de asentamiento de una estructura al escurrir el agua, entre otros.

2.3.2. MEDICIÓN POR INTRODUCCIÓN DE UN TUBO DE DIÁMETRO CONOCIDO EN TERRENO.

Este método propone un método experimental para conocer el valor de la permeabilidad media " k_m " del suelo. El método consiste en medir el tiempo de abatimiento de un determinado tirante de agua, sobre un pozo previamente excavado de dimensiones conocidas.

En la figura 9 se observa el diagrama del pozo excavado. La ecuación 13 se aplica cuando los diámetros del pozo no son uniformes y la ecuación 14 es para el caso de tener un diámetro uniforme.

Se aplican las siguientes ecuaciones para el calcular la permeabilidad media " k_m " del suelo.

$$K_m = \frac{\pi \cdot d^2}{11 \cdot D \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (13)$$

$$K_m = \frac{\pi \cdot D^2}{11 \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad \text{Para } D=d \quad (14)$$

Dónde:

- k_m : Coeficiente de Permeabilidad medio [cm/s]
 D : Diámetro de la muestra en la cámara inferior [cm]
 d : Diámetro del tubo superior [cm]
 H_1 : Carga piezométrica $t = t_1$ [cm]
 H_2 : Carga piezométrica $t = t_2$ [cm]
 t : Tiempo [s]

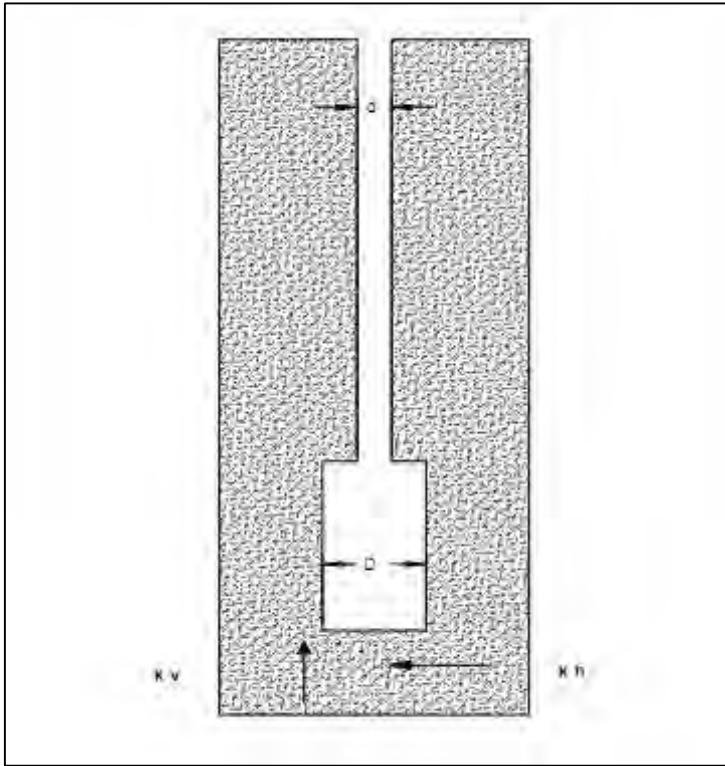


Figura 9: Pozo excavado para medir la permeabilidad " k_m " del suelo. [Fuente: Elaboración propia.]

2.4. MÉTODOS DE IMPERMEABILIZACIÓN DEL MURO.

2.4.1.- MATERIAL DEL MURO

En general, los embalses de regulación se diseñan como muros no vertedoras; o sea, las aguas acumuladas en el depósito no deben rebasar el coronamiento del muro. Lo anterior permite utilizar muros de tierra. En Chile, este tipo de embalses de regulación de temporada, que corresponden a una obra menor de riego, se diseñan como muros de tierra o muros en terraplén de tierra compactada.

De esta manera, los muros del embalse se construyen de tierra seleccionada, de sección trapecial, con un coronamiento de ancho adecuado y taludes de pendiente definida, de acuerdo a las características geotécnicas del material de relleno a utilizar para formar el muro; generalmente los materiales deben provenir de una zona de empréstito cercana, debidamente estudiada. Estos muros pueden ser de sección homogénea o de sección compuesta.

Para obtener una buena administración de los recursos y poder entregar en la justa medida el suministro de agua a los agricultores de la zona, debemos contar con elementos que minimicen las pérdidas de agua en su almacenamiento, por lo que debemos proponer un sistema de impermeabilización óptimo de acuerdo a los alcances técnicos y económicos del estudio en cuestión; por esta razón se considera el análisis de dos alternativas para minimizar los efectos de infiltración a través y por abajo del muro.

Los productos a utilizar lo definiremos de la siguiente manera:

- A. **Lámina HDPE:** corresponde a una geomembrana de polietileno de alta densidad, fabricada exclusivamente con resina de polietileno virgen. Está compuesta por antioxidantes y termo-estabilizadores, tiene excelentes propiedades mecánicas, resistencia química, resistencia al agrietamiento ambiental, estabilidad dimensional, resistencia al envejecimiento por temperatura y resistencia a la radiación UV.
- B. **Sistema ROCAMIX:** Es un sistema de estabilización y de impermeabilización de suelos de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales porque torna la compactación del suelo en estado irreversible. Corresponde a una solución acuosa de aceites sulfonados que incorporándose al mismo suelo del lugar de estudio,

produce en él cambios fundamentales, químicos-físicos de estructura, condicionándolo para alcanzar una impermeabilización y compactaciones superiores al 100% del Proctor, aumentando la capacidad portante y la resistencia al esfuerzo cortante.

2.4.2.- CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LÁMINA HDPE

Las geomembranas de polietileno están específicamente diseñadas para condiciones expuestas. Tienen una aplicación generalizada en agricultura, construcción y minería como elemento de contención de líquidos, como revestimiento en pilas de lixiviación, en depósitos, en canales, en embalses y en estanques de almacenamiento, entre otras.

Las geomembranas de HDPE son fabricadas con resinas de polietileno, especialmente formuladas y certificadas, con una densidad mínima de 0,941 gr/cc. En su proceso de manufactura utiliza moderna tecnología de coextrusión-soplado, tricapa, la cual permite fabricar geomembranas con propiedades específicas en cada cara, formando productos bicolor y/o texturados, además, de tener la alternativa de entregarle al manto propiedades fisicoquímicas que cambien su comportamiento a la resistencia a su rigidez, ductilidad, y a otras resistencias mecánicas.

Estas láminas, además tienen aplicación en Agricultura para base de embalses; Construcción, actuando como sellante; Rellenos Sanitarios; etc. Lo podemos ejemplificar con las siguientes figuras:



Figura 10: Planta de Tratamiento Molibdeno Codelco Teniente. Recuperado el 11 de septiembre 2015, <http://www.incomin.cl/proyectos.html>



Figura 11: Embalse de Regulación, San Fernando VI Región de Chile, Recuperado el 11 de septiembre 2015, <http://www.incomin.cl/proyectos.html>



Figura 12: Impermeabilización de embalse Viña del Nuevo Mundo, Santa Cruz, VI Región, Chile, Recuperado el 11 de septiembre 2015, <http://www.vorwerk.cl/#!/nuestros-proyectos/c1s46>



Figura 13: Impermeabilización de laguna ornamental y navegable, Parque Aeropuerto Cerrillos, Chile, Recuperado el 11 de septiembre 2015, <http://www.vorwerk.cl/#!/nuestros-proyectos/c1s46>

Las ventajas que posee la geomembrana de HDPE son las siguientes:

- 1) Bajo coeficiente de permeabilidad ($K=2,7 \times 10^{-15}$ m/s)
- 2) Liviana, de fácil manipulación y transporte.

- 3) Menor tiempo de instalación.
- 4) Diversas posibilidades de diseños industriales con diversas soluciones de unión.
- 5) Excelente resistencia química, a la corrosión y abrasión.
- 6) Menores costos de instalación.
- 7) Vida útil de más de 50 años con bajos costos de mantención y operación.
- 8) Alta flexibilidad, que en caso de sismos o vibraciones del terreno.
- 9) Son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Estos productos químicos pueden actuar concentrados y/o diluidos a diferentes temperaturas.
- 10) Además de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y rayos ultravioleta (UV con 2-3% negro de humo), presentan inmejorables propiedades mecánicas, su bajísima permeabilidad le permite actuar como barrera al paso de fluidos y gases, alta fuerza tensible y excelente rigidez.

Dentro de sus desventajas podemos nombrar las siguientes:

- Lámina rígida
- Bajo coeficiente de fricción a menos que sea texturizada.
- Su punto de rompimiento se logra de manera brusca.
- Al momento de su rompimiento, pierde su impermeabilidad.
- Juntas en la unión de láminas.

Los espesores de esta lámina varían entre 0,5 mm y 5 mm, con un ancho total de 6,8 metros y largos de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Fuente: *Geomembrana de HDPE*, recuperado el 03 de enero del 2015, de http://www.e-seia.cl/archivos/77c_Anexo_7_geomembrana.pdf



2.4.3.- CARACTERISTICAS Y APLICACIONES DEL SISTEMA ROCAMIX

El Sistema ROCAMIX es un sistema de estabilización y de impermeabilización de suelos de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales porque torna la compactación del suelo en estado totalmente irreversible.

El producto Rocamix está constituido por los siguientes productos químicos:

2.1 Nombre químico: Cloruro de amonio Trimetil de Octadecyl

Formula Molecular: $C_{18}H_{37}(CH_3)_3NCl$

2.2 Nombre químico: Acetato de Celulosa

Formula Molecular: $C_6H_{10}O_5$

2.3 Nombre químico: Formaldehído de la urea

Formula Molecular: $C_3H_8N_2O_3$

2.4 Agua

Formula Molecular: H_2O

El Sistema Rocamix es una sencilla copia de lo que hace la naturaleza - ya que todos los suelos están constituidos globalmente por la roca que por efectos químicos y mecánicos son transformados en suelos y de nuevo en un perpetuo ciclo, la naturaleza retransforma estos suelos en roca.

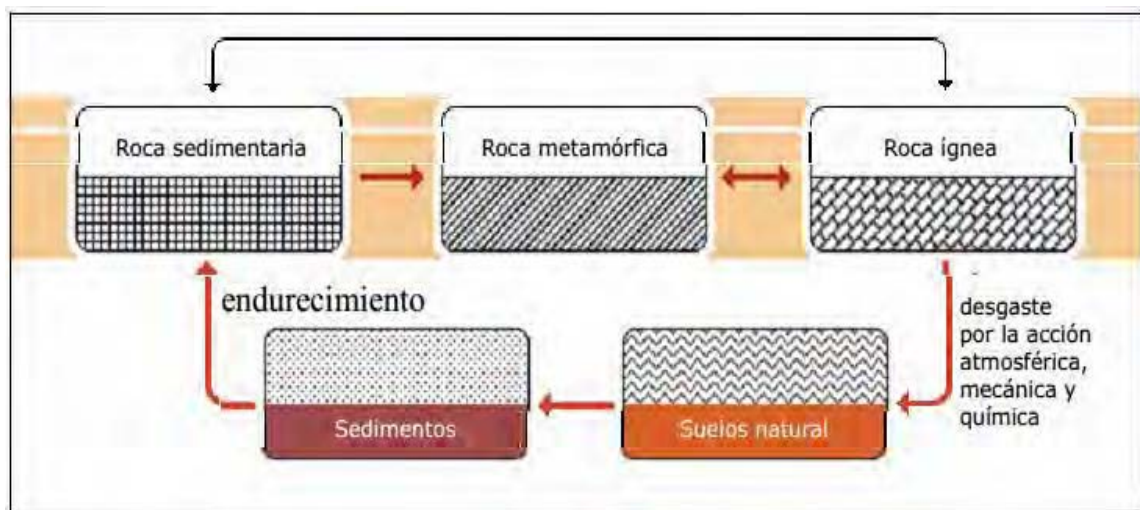


Figura 14: Ciclo de la naturaleza Rocamix. [Fuente: *Ciclo de la Naturaleza*. (s.f.). Recuperado el 05 de enero del 2015, de http://www.Rocamix.es/formula_secreta.php]

La figura nos muestra el proceso de transformación y retransformación de la roca. La idea es encontrar un camino rápido para acelerar el "proceso" de endurecimiento de los suelos tratados para llegar a la **petrificación**. Sistema Rocamix, imitando la naturaleza, ha logrado reducir este tiempo a cero.

En química, los "procesos" que necesitan tiempo y energía importante, tal como el de la transformación del suelo en roca, pueden modificarse y acelerarse claramente gracias a la adición de catalizadores.

Imitando a la naturaleza y utilizando los conocimientos químicos, especialmente los de agentes de activación, podemos modificar el comportamiento del suelo independientemente de su composición.

Durante años, la labor de investigación y desarrollo en los laboratorios, así como las experiencias in situ, han permitido encontrar soluciones eficaces y esto con resultados espectaculares.



La tecnología desarrollada por Sistema Rocamix permite el mejoramiento de todo tipo de suelos. El Sistema Rocamix utiliza el mismo suelo del lugar para la construcción de plataformas de todo tipo como: caminos, carreteras, autopistas, ferrocarriles, embalses, pistas de aeropuerto y vertederos. Sistema Rocamix agrega al suelo natural una alta capacidad de soporte estructurando así una base que al incrustar una capa de árido u otro tratamiento superficial es capaz de soportar considerables solicitaciones de tránsito. Además, Sistema Rocamix impermeabiliza ese mismo suelo y le añade una propiedad esencial: la insensibilidad ante cualquier cambio de tiempo.

La estabilización iónica de suelos es un proceso mediante el cual se logra mejorar su comportamiento al adicionarles un producto químico que actúa en una fracción de tamaño menor a dos micrones y que es principalmente la arcilla.

El principio básico de la acción del agente estabilizador es un fuerte intercambio iónico con las partículas de arcilla mineral, desplazando el agua de absorción y ocupando el espacio iónico vacante. El resultado es una compactación y estabilización permanente, logradas con el mínimo esfuerzo mecánico, produciendo un material en el que las partículas son "petrificadas" simplemente por contacto directo. Y eso aumenta la capacidad de carga por mayor fricción entre partículas y mayor densidad.

Estos cambios afectan principalmente a la fracción coloidal de las arcillas y al agua contenida en el suelo, en particular al agua higroscópica distribuida sobre las superficies de las partículas del suelo, al agua retenida por tensión superficial en los puntos de contacto de las partículas y al agua capilar infiltrada en los poros entre ellas.

2.4.3.1. DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Para la aplicación del producto, debemos realizar la clasificación del tipo de suelo con que se cuenta en el empréstito o al pie de la obra para realizar los trabajos, para clasificarlo se utilizará el Sistema universal de clasificación AASHTO.

Tabla 5: Sistema universal de clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: Clasificación de suelos según AASHTO, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO

Tabla 6: Sistema Clasificación Rocamix

Clasificación General AASHTO	Materiales granulares. (35% como máximo de la que pasa el tamiz N° 200)							Materiales de arcilla-limo (más de 35% del total de la muestra que pasa el tamiz N° 200)			
Clasificación por grupos	A-1	A-1-b	A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5 A-7-6
Tipos de suelos	Suelos buenos a regulares							Suelos regulares, malos a muy malos			
Clasificación ROCAMIX	R1	R1	R1	R1	R2	R2	R2	R2	R3	R3	R4
DOSIS											
Litro de Producto por m3	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45	0,45	0,50
Kilogramo de cemento por m3	5	5	5	5	10/15	10/15	10/15	10/15	20	20	25

Fuente: Clasificación sistema Rocamix, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.Rocamix.es/clasificacion_Rocamix.php

La dosis para la aplicación del producto Rocamix y del cemento corresponde a la clasificación del suelo que debe tratarse.

La cantidad de producto Rocamix concentrado que debe suministrar para su aplicación y que debe mezclarse con agua que se utilizará para la compactación del suelo.

Con la misma tierra del lugar, se riega el producto Rocamix concentrado según la clasificación propia y exclusiva de Rocamix llamada: R1, R2, R3 y R4.

Tabla 7: Clasificación Exclusiva Rocamix

Tipo de suelos según Rocamix	Cantidad de Rocamix en litros (Rocamix por m3 de suelo)
Suelo clasificado R1	0,30 Litro de Rocamix concentrado por m3 de la misma tierra del lugar
Suelo clasificado R2	0,40 Litro de Rocamix concentrado por m3 de la misma tierra del lugar
Suelo clasificado R3	0,45 Litro de Rocamix concentrado por m3 de la misma tierra del lugar
Suelo clasificado R4	0,50 Litro de Rocamix concentrado por m3 de la misma tierra del lugar

Fuente: Clasificación sistema Rocamix, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.Rocamix.es/clasificacion_Rocamix.php

Tabla 8: Dosis para su aplicación de Cemento

Tipo de suelos según Rocamix	Cantidad de aditivo en kg (cemento por m3 de suelo)
Suelo clasificado R1	7,5 kg de Cemento por m3 de la misma tierra del lugar
Suelo clasificado R2	10/15 kg de Cemento por m3 de la misma tierra del lugar
Suelo clasificado R3	20 kg de Cemento por m3 de la misma tierra del lugar
Suelo clasificado R4	25 kg de Cemento por m3 de la misma tierra del lugar

Fuente: *Clasificación sistema Rocamix*, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.Rocamix.es/clasificacion_Rocamix.php

En resumen se puede aplicar Rocamix a cualquier tipo de suelo, una vez clasificado el tipo de suelo a trabajar, según tabla clasificación AASHTO, se clasifica el tipo de suelo según las tablas utilizadas por Rocamix, donde se especifica las cantidades a aplicar de Rocamix y de cemento.

2.4.3.2. METODOLOGIA DE APLICACIÓN DE ROCAMIX

Para lograr los máximos resultados al aplicar Sistema Rocamix, debemos considerar el siguiente cronograma de actividades para la construcción del muro:

- 1) Una vez clasificado el suelo según AASHTO, se procede a señalar la clasificación según el sistema Rocamix, para luego entregar una dosificación del producto Rocamix y del cemento estándar a utilizar.
- 2) Disponiendo de los resultados de los ensayos requeridos, proceda en la Tabla 6 de izquierda a derecha y el grupo correcto se encontrará por eliminación. El primer grupo desde la izquierda que satisface los datos de ensaye es la clasificación correcta. Todos los valores límites son enteros, si alguno de los datos es decimal, se debe aproximar al entero más cercano.



- 3) Excavaciones y retiro del escarpe: se deberá retirar todo material que sea contaminante, de acuerdo a lo proyectado en terreno por niveles y trazados, se deberá llegar al sello de fundación o Subrasante de acuerdo a los antecedentes del proyecto y se ejecutará la compactación del sello mediante el uso de rodillo (10 toneladas), aumentando su densidad y condiciones mecánicas.
- 4) Una vez en el sello de fundación, se confeccionará la primera capa de relleno, esta debe ejecutarse por capas horizontales de espesor suelto ≤ 25 cm., en todo el ancho del relleno y en longitudes adecuadas, de acuerdo al método empleado en la distribución, mezcla y compactación. En caso de ser transportado y vaciado mediante camiones, la distribución debe ser efectuada mediante Motoniveladoras u otro equipo adecuado.
- 5) Una vez distribuido el material de manera homogénea (con motoniveladora o maquinaria similar) se dispondrán los sacos de cemento (42 kg por saco), y se vaciarán de manera uniforme en el terreno, para dar paso a la mezcla del suelo. Esta etapa del proceso se puede mecanizar contemplando una planta y llevando el material listo a terreno.
- 6) Terminado el proceso de mezcla, se procede a la humectación con el sistema Rocamix (dosificado en camión aljibe de acuerdo a la clasificación del suelo a emplear).
- 7) Compactación del suelo, este procedimiento consiste en la aplicación de energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su

densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. Su objetivo es el mejoramiento de las propiedades de ingeniería del suelo. El material deberá ser compactado con el grado que fije el laboratorio, de acuerdo al ensayo Proctor modificado y para cumplir con este requisito deben tenerse en consideración los siguientes factores:

- Espesor de la capa de material suelto que se compacta.
- Presión ejercida por el rodillo sobre el terreno.
- Número de pasadas del rodillo, necesarios para obtener el grado de compactación requerido.
- Humedad en el momento de la operación.

8) El Sistema ROCAMIX no necesita equipos o maquinas especiales para su aplicación. Los equipos clásicos de una empresa de movimiento de tierra sirven para la aplicación el Sistema ROCAMIX.

- Motoniveladora
- Excavadora
- Camión Aljibe
- Camión Tolva
- Rodillo compactador

Algunos ejemplos de aplicación del producto Rocamix en el mundo: Impermeabilización de suelos, aplicaciones para embalses, lagos, acueductos y canales.



Figura 15: Embalse Guama (2009), Cuba. Dossier de presentación de obras realizadas con el sistema Rocamix [Fuente: Sistema Rocamix]



Figura 16: Embalse Rural (2009), La Rioja, Argentina. Dossier de presentación de obras realizadas con el sistema Rocamix [Fuente: Sistema Rocamix]



Figura 17: Revestimiento de embalse y Canal (2009), Tunez. Dossier de presentación de obras realizadas con el sistema Rocamix [Fuente: Sistema Rocamix]



Figura 18: Embalse Juventud, Cuba. Dossier de presentación de obras realizadas con el sistema Rocamix [Fuente: Sistema Rocamix]

Cabe destacar, que en Chile este producto aún no ha sido utilizado en algún tipo de obra.



Las ventajas del Sistema Rocamix las podemos describir de la siguiente manera:

- 1) La mejora de las propiedades así como de los valores de sustentación del suelo es permanente y mejora en tiempo corto el efecto del tráfico. La firmeza y la estabilidad creciente del suelo tratado llevan a una mejor durabilidad y por eso también a ahorros aún mayores debido a un menor mantenimiento.
- 2) El Sistema Rocamix trabaja igual con cualquier tipo de suelos, activa las fuerzas cohesivas propias del suelo. El Sistema Rocamix modifica los suelos en sí mismos de forma permanente y puede ser utilizado tanto en el lugar de su aplicación como en un procedimiento de mezcla previa en planta.
- 3) Con la utilización de los suelos disponibles a pie de la obra, el Sistema Rocamix provoca un aumento del ahorro y productividad de los recursos: humanos, materiales, energéticos, financieros y del tiempo.
- 4) Ya que el suelo interviene con el papel de actor principal, la aplicación del Sistema Rocamix es muy sencilla; se precisa en los suelos la misma cantidad de aditivos para conseguir el resultado óptimo.
- 5) Simplicidad en la aplicación y trabajabilidad, ya que se realiza con las maquinaria convencionales de movimiento de tierra.
- 6) Resultado asegurado que se conoce de antemano, ya que se han hecho visibles con ensayos previos de laboratorio

- 7) Inocuidad para el medio ambiente.
- 8) Beneficio Ecológico: Este producto no es nocivo con el medio ambiente. No hay efecto directo en plantas o animales, que hayan presentado una evidencia perjudicial. No existe evidencia que el producto afectó la vida acuática.

Las desventajas de la utilización del producto son las siguientes:

- 1) El producto no está disponible en nuestro país, por lo que tendría que importar el sistema Rocamix, para la posible aplicación. La procedencia del producto es **China** y su fabricante es **BEIJING MEDICINES & HEALTH PRODUCTS IMP. & EXP. CORP. LTD.**
- 2) El producto posee un aspecto líquido blanco ligeramente viscoso y un olor débil, por lo que, los órganos afectados en caso de contacto, serán:
Sistema respiratorio, ojos, piel.
 - a. Ojos: Causa severa irritación en los ojos. Podría causar lesiones en la córnea.
 - b. Piel: Puede causar sensibilidad en la piel, reacción alérgica, la cual se hace evidente a la exposición de este material. Podría ser absorbido a través de la piel. Puede causar irritación y posibles quemaduras.
 - c. Ingestión: Nocivo si se ingiere, Puede causar irritación grave del tracto gastrointestinal con náuseas, vómito y posibles quemaduras.
 - d. Inhalación: Causa irritación del tracto respiratorio. Puede causar irritación del tracto respiratorio con ardor en la nariz y en la garganta, tos, dificultad para respirar, y edema pulmonar. Puede causar quemaduras en el tracto respiratorio. La inhalación puede ser mortal como consecuencia de un espasmo, inflamación,



edema de la laringe y bronquios, neumonitis química y edema pulmonar.

- e. Rutas de penetración: Es absorbido por la piel. Contacto con los ojos. Mantener alejado del calor, chispas y llamas. Evite el contacto con los ojos, piel o en prendas de vestir. No ingerir, Evitar respirar el vapor. Mantenga el recipiente cerrado. Use sólo con ventilación adecuada. Lavarse a fondo después de manipular. Evite el contacto del material derramado y suelo y cause de arroyos.
- f. Se deben utilizar todos los elementos de protección personal necesarios para la manipulación de las sustancias peligrosas.
 - Casco con barbiquejo.
 - Calzado de Seguridad.
 - Guantes de pvc.
 - Antiparras.
 - Mascarilla desechable o doble filtro.
 - Traje Papel.

3) La normas chilenas de clasificación del producto, tanto para el transporte, almacenamiento y manipulación son:

- **Norma Ch 2137 Of. 92** Sustancias peligrosas - Embalajes/Envases - Terminología, clasificación y designación.
- **DS 148/05** Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos.
- **DFL 725/67** Código Sanitario (Sustancias Tóxicas o Peligrosas para la Salud).
- **NCh 758/71** Sustancias peligrosas - Almacenamiento de líquidos inflamables - Medidas particulares de seguridad.



- **NCh 2190/93** Sustancias peligrosas - Marcas para información de riesgos.
- **NCh 2245/93** Hoja de datos de seguridad de productos químicos - Contenido y disposición de los temas.
- **NCh 382/98** Sustancias peligrosas - Terminología y clasificación general.

2.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica tiene por objetivo determinar la rentabilidad de ambas alternativas de impermeabilización del muro del embalse (beneficios generados menos costos incurridos), de tal manera que sea posible compararlos.

La evaluación económica se ha efectuado para determinar el beneficio neto que representa el proyecto para los usuarios.

Para la determinación de la rentabilidad del proyecto, se calcularán los siguientes indicadores económicos básicos, según criterios del Ministerio de Desarrollo Social y del Banco Mundial: Valor Actual Neto (VAN), de la estimación del valor de la tasa interna de retorno, TIR, y de otros indicadores económicos específicos como son la relación beneficio - costo y el período de recuperación del capital.

El embalse seleccionado, corresponde a un proyecto que debe tener asociada una evaluación económica que permita determinar la rentabilidad de invertir en la ejecución de los proyectos. La inversión inicial está asociada a las obras civiles del embalse y obras anexas. Los beneficios netos anuales que pueden cuantificarse están asociados directamente a los beneficios agrícolas que implica tener obras de regulación superficial.

a. Metodología de Evaluación.

La metodología de evaluación que se utilizó es del tipo costo – beneficio, donde los beneficios se estimaron a través del “Método del Presupuesto”. Este método consiste en determinar los beneficios netos agrícolas que se obtendrían utilizando el aumento de disponibilidad de agua debido al proyecto.

b. Efectos Directos.

Los efectos directos del proyecto de riego corresponden a los beneficios y costos directos que se perciben o en los que se incurre a raíz de ejecutar dicha obra.

En términos generales, en los proyectos de riego evaluados a través del Método del Presupuesto, los beneficios corresponden a los ingresos agrícolas generados por una mayor producción, y los costos a aquellos en los que se incurre para ejecutar el proyecto y llevar a cabo la mayor actividad agrícola.

c. Beneficios.

Los beneficios agrícolas del proyecto de riego provienen de la mayor superficie cultivada y del cambio de cultivos o aumento de rendimientos de los cultivos que se mantienen producto de una mayor seguridad de riego, en la zona de influencia del proyecto.

d. Costos.

En términos generales, los costos corresponden a la inversión y a la mayor utilización de recursos e insumos debido a la ejecución del proyecto.

Los costos de los proyectos que se evaluaron corresponden a los siguientes:

i) Inversión.

- Construcción de Obras Civiles: corresponden a los costos netos asociados a la construcción de las obras de riego extraprediales, según las necesidades de cada proyecto evaluado.

- **Gastos Generales:** a los costos directos obtenidos en el proyecto, se les debe agregar un costo por concepto de gastos generales, que corresponden a todos los gastos indirectos que se generarán a partir de la construcción de la obra.

ii) Operación y Mantenimiento anual.

Corresponde a todos aquellos costos en los que se incurre por concepto de explotación y mantenimiento del embalse durante el horizonte de evaluación del proyecto. En las evaluaciones hechas en este estudio se consideraron en forma anual durante el período de evaluación de los proyectos, a partir del año siguiente al término de construcción de las obras. El valor de éste ítem se estimó 0,5 % de la Inversión Total.

e. Horizonte de Evaluación.

El horizonte de evaluación que se ha utilizado para evaluar los dos proyectos corresponde al recomendado por el Ministerio de Desarrollo Social, para este tipo de obras; es decir, 30 años.

Fuente: Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego, (2010), Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico, [s.a.].

f. Criterios de la Evaluación.

Una vez determinados los flujos de Ingresos (Beneficios) y Costos asociados a los proyectos, se procede a la evaluación económica de éstos, principalmente a través de la estimación del Valor Actual Neto, VAN, de la estimación del valor de la tasa interna de retorno, TIR, y de otros indicadores económicos específicos como son la relación beneficio - costo y el período de recuperación del capital.

i. Valor Actual Neto.

Corresponde a un criterio financiero para el análisis de proyectos de inversión, que consiste en determinar el valor actual de los flujos que se esperan en el transcurso de la inversión, tanto de los flujos positivos, beneficio neto, como de las salidas de capital, incluida la inversión inicial, que se representan con signo negativo.

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - I_o \quad (15)$$

Dónde:

B_t : Beneficio neto del proyecto

I_o : inversión inicial

i : tasa de descuento

El análisis de los proyectos se realizó utilizando un horizonte de 30 años y una tasa de descuento de 6 %. Además, se asumirá que el 100% de las inversiones asociadas a las obras de regulación se harán en el año 1.

ii. Tasa Interna de Retorno.

Generalmente conocido por su acrónimo TIR, es el tipo de descuento que hace que el Valor Actual Neto del proyecto sea igual a cero. En términos matemáticos, la TIR se calcula como:

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - I_o = 0 \quad (16)$$

Donde r es la tasa interna de retorno. La tasa así calculada (TIR) se compara con la tasa de descuento ocupada en la evaluación.

3. METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Para realizar una comparación técnico – económico de ambas alternativas de impermeabilización de un muro de tierra se determinará los siguientes parámetros propios del embalse y del área de estudio:

3.1.1 Localización geográfica del embalse: lugar donde se emplazará el embalse de acuerdo a la disponibilidad de la zona de estudio, accesos al área del proyecto y justificación de la localización del proyecto.

3.1.2 Mecánica de suelos: con la construcción de calicatas, ejecutadas en el lugar de estudio, se determinaran las características del suelo. De acuerdo a estos parámetros se clasificarán en forma certera y se determinarán los criterios a utilizar. Se calculará la estratigrafía, granulometría, características geomorfológicas, características geomecánicas del suelo existente y se entregarán las recomendaciones para la construcción del muro.

Cabe señalar que para la alternativa de impermeabilización con sistema Rocamix, se debe conocer el tipo de suelo, según clasificación en el sistema AASHTO.

3.1.3 Permeabilidad de los suelos: para determinar este parámetro se construirán calicatas de distintas alturas, una de 3 metros y otra de 10,65 metros. Utilizando el método de la introducción del tubo en terreno, conoceremos el valor de la permeabilidad, de acuerdo a esto se recomendará la utilización de métodos de impermeabilización para el muro del embalse.

3.1.4 Topografía: para conocer las características topográficas de la zona de estudio, se solicitan al instituto geográfico militar las coordenadas de dos puntos cercanos, con esto se trasladan dos puntos de referencia cerca del sitio de la

obra, para proyectar el muro y calcular las características generales de un embalse de regulación interanual.

3.1.5 Precipitaciones, superficies y cultivos a regar y oferta de agua: datos de ingresos para la entrega de agua a los regantes y capacidad total a embalsar.

3.1.6 Diseño del muro del embalse: de acuerdo a la topografía entregada, se definirá curva del embalse, disposición de muro, superficie inundada y capacidad total del embalse, arrastre de sedimentos, diseño de vertedero de crecidas con canal lateral, diseño de obras de desviación necesarias y diseño de las obras de entrega. Con todos estos datos tendremos las características generales del embalse.

Una vez teniendo los parámetros básicos para el diseño, se entregarán las características del muro del embalse, con esto se obtendrá las cantidades de cada alternativa de impermeabilización y se procederá al análisis económico de cada alternativa.

3.1.7 Evaluación económica de ambos métodos de impermeabilización: se realiza la evaluación técnico – económica de dos alternativas para el sistema de impermeabilización del muro (Lámina HDPE y Sistema Rocamix) y así ejecutar la comparación en términos económicos.

Por último se realizan conclusiones y recomendaciones de la alternativa de impermeabilización del muro que tenga una relación Beneficios/Costos óptima, que reduzca las pérdidas de agua por infiltración a través del muro y asegure el agua para riego en los meses de escasez hídrica a los agricultores que se verán beneficiados por el proyecto en evaluación.

3.2 ESQUEMA DE METODOLOGÍA

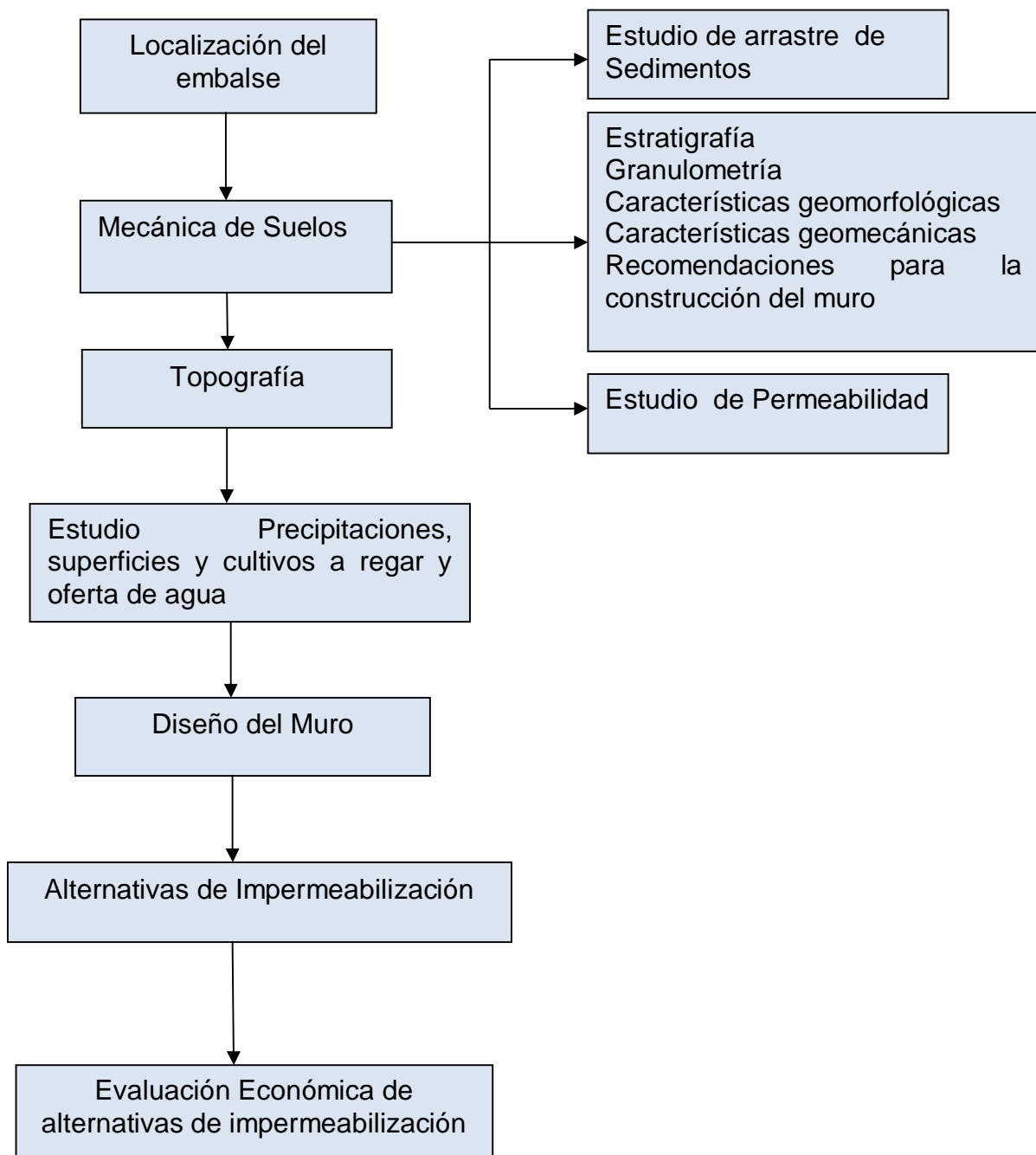


Figura 19: Esquema de metodología. [Fuente: Elaboración propia]

4. CASO DE ESTUDIO EL CARMEN – LA HIGERA

4.1. UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DE EMBALSE

4.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El área de interés El Carmen y La Higuera está ubicada en la Comuna de La Ligua, Provincia de Petorca, V Región, y la comunidades interesadas en el estudio son las Comunidades de Parceleros de El Carmen y La Higuera. En el área de El Carmen y La Higuera se pretende construir un embalse en el estero La Patagua, mediante un muro de tierra transversal al estero, con el objetivo de embalsar parte de las aguas que escurren por dicho estero.

Las coordenadas UTM Psad 1956 de ubicación del embalse son Norte 6.398.613 m, Este 298.981 m.

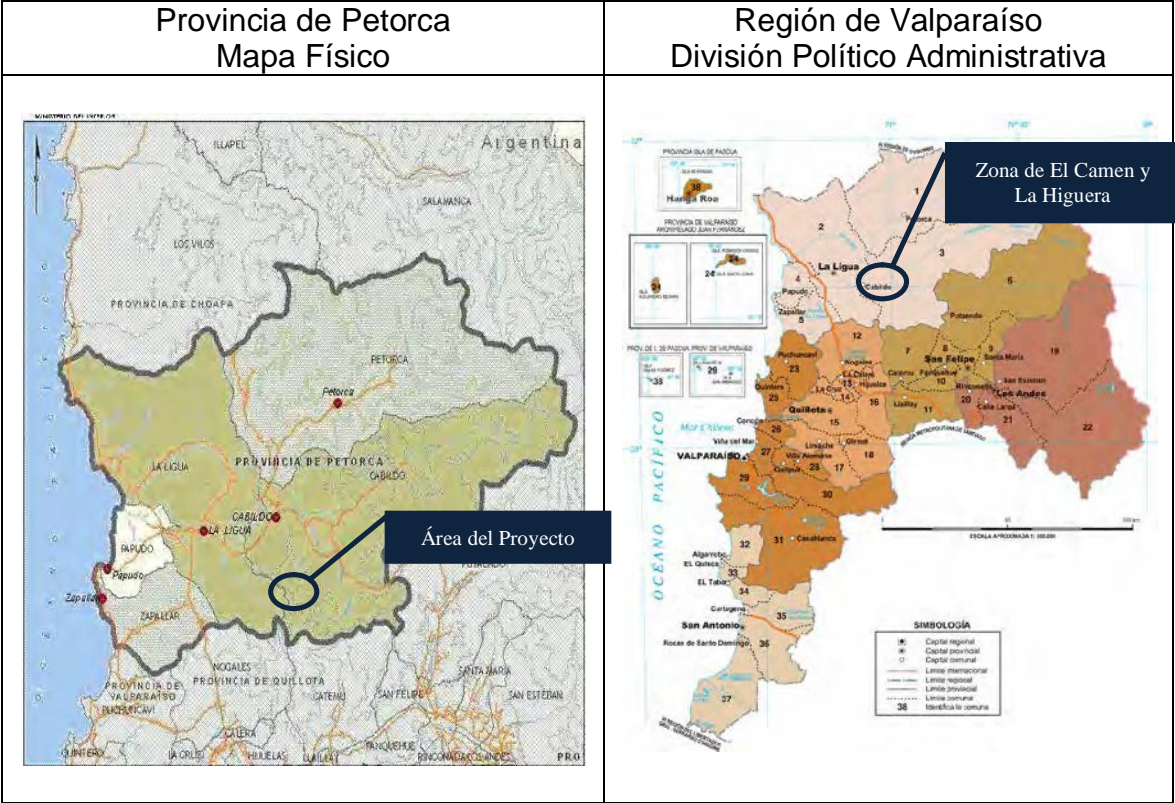


Figura 20: Localización geográfica del Proyecto a nivel regional y provincial. [Fuente: Elaboración propia sobre imágenes obtenidas en Google (www.google.com)]



Figura 21: Localización geográfica del Proyecto en Google Earth. [Fuente: Elaboración propia sobre imágenes obtenidas en Google (www.google.com)]

4.1.2 ACCESOS AL ÁREA DEL PROYECTO

El sitio de localización del embalse a estudiar se encuentra ubicado en terrenos del Predio la Higuera de la Comuna de La Ligua, Provincia de Petorca, V Región, a 7 Km al sureste de la ciudad de La Ligua.

La figura 22, muestra la localización del proyecto y también la ruta de acceso al área de emplazamiento a través de un camino interior (ruta E – 415, de color amarillo), que nace en el Km 7 de la ruta E - 35 que une La Ligua con Cabildo.

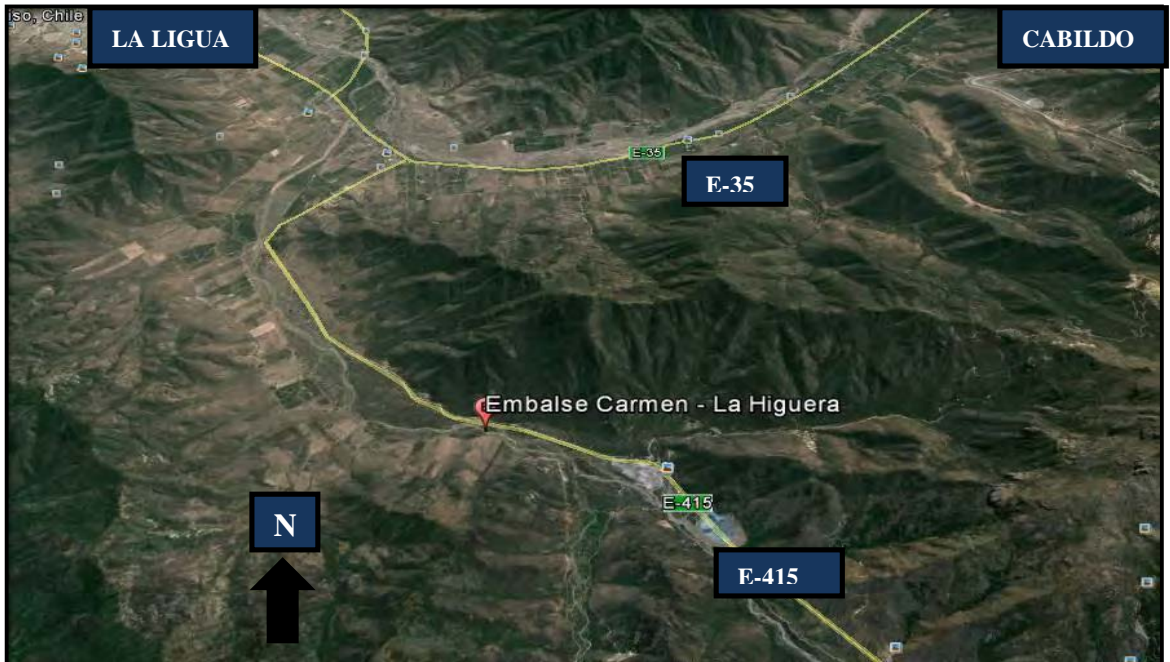


Figura 22: Localización geográfica del Proyecto en Google Earth. [Fuente: Elaboración propia sobre imagen obtenida en Google Earth (www.GoogleEarth.com)]

4.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El Predio La Higuera comprende una superficie total de 1077,34 hectáreas, de las cuales sólo 85 hectáreas actualmente cuentan con riego.

El Proyecto tiene su justificación geográfica al pretender aumentar la disponibilidad de aguas en dicho predio, permitiendo incrementar la superficie de riego cultivable y también asegurar el suministro de recursos hídricos durante toda la temporada estival.

Corresponde destacar que durante los últimos años, y agravado por la situación de escasez hídrica actualmente existente en el país, incluyendo la Región de Valparaíso, el Ministerio de Agricultura, a través de INDAP y la Comisión Nacional de Riego, ha planteado una política orientada a la sustentabilidad de



los recursos hídricos. Lo anterior se ha traducido en esfuerzos por mejorar el aprovechamiento del agua, evitar la alteración del ciclo hidrológico y mejorar su eficiencia de conducción. Entre las acciones propuestas para concretar estos objetivos, la Autoridad pretende fomentar las obras de embalsamiento destinadas a la producción agrícola y acciones tendientes a disminuir las pérdidas del recurso en su conducción.

Consistente con lo antes expuesto, el Proyecto responde fehacientemente a la política de sustentabilidad de los recursos hídricos indicada por el Ministerio de Agricultura, y sus obras son justamente de embalsamiento de agua para uso agrícola.

4.2 ESTUDIOS PREVIOS APLICADOS AL CASO EMBALSE EL CARMEN – LA HIGERA

4.2.1 MECÁNICA DE SUELOS

4.2.1.1 EXPLORACIÓN Y ESTRATIGRAFÍA

Para precisar la estratigrafía y características de los suelos existentes en el sitio en análisis, se hizo una exploración a base de dos calicatas, de ~3,0 m de profundidad.

Los antecedentes entregados por estas calicatas, las que fueron registradas en Junio de 2013, son los que siguen:

a) Estratigrafía

Tabla 9: Calicata N° 1

Profundidad (m)	Descripción
0,00 ÷ 0,40 Estrato 1	Depósito aluvial, formado por arenas limosas con algo de gravillas al final del estrato, de color café claro, de tamaño máximo 8", de compacidad media baja, mal graduadas, de baja compresibilidad y libres de materia orgánica.
0,40 ÷ 3,00 Estrato 2	Depósito aluvial estratificado, formado por arenas gravosas limosas, de color café claro, de tamaño máximo 8", de canto redondo, de estructura estratificada, de compacidad media alta y libres de materia orgánica.

Tabla 10: Calicata N° 2

Profundidad (m)	Descripción
0,00 ÷ 0,40 Estrato 1	Depósito aluvial, formado por arenas limosas con algo de gravillas al final del estrato, de color café claro, de tamaño máximo 8", de compacidad media baja, mal graduadas, de baja compresibilidad y libres de materia orgánica.
0,40 ÷ 3,0 Estrato 2	Depósito aluvial estratificado, formado por arenas gravosas limosas, de color café claro, de tamaño máximo 8", de canto redondo, de estructura estratificada, de compacidad media alta y libres de materia orgánica.

4.2.1.2 GRANULOMETRÍA

De la Calicata N° 2 se tomó una muestra perturbada de los suelos a 3,0 m de profundidad, y se llevó a laboratorio para que se le hiciera ensayos de clasificación completa.

Los resultados de los ensayos se pueden resumir como sigue:

Muestra Calicata 2 (3, 0 m)

Tabla 11: Granulometría

Tamaño de la partícula (mm)	Malla	% de Peso que pasa
19,000	3/4"	100,0
9,520	3/8"	93,8
4,760	#4	78,6
2,000	#10	59,5
0,840	#20	40,7
0,420	#40	33,2
0,250	#60	27,1
0,106	#140	15,0
0,074	#200	9,9

- Límites de Atterberg
Índice de Plasticidad, IP : NP
- Peso Específico : 2,08 (ton/m³)
- Clasificación USCS : SP - SM (Arena Gravosa Limosa, mal graduada con poco fino)
- Clasificación AASHTO : A - 1b (0)

4.2.1.3 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL SITIO

El sitio de localización del embalse a estudiar se encuentra ubicado en terrenos del Predio la Higuera de la Comuna de La Ligua, Provincia de Petorca, V Región, a 7 Km al sureste de la ciudad de La Ligua.

El área de implantación del embalse corresponde a planicies con una pendiente del orden del 5,00% decreciente en dirección Sur-Oriente a Nor-Poniente.

En el área existen depósitos aluviales no consolidados, formados por gravas y arenas, con intercalaciones de arcillas y limos.

El proyecto se ubica dentro de la cuenca Rio La Ligua, en subcuenca Rio La Ligua Bajo. El principal curso de agua corresponde al estero La Patagua, siendo uno de los principales afluentes del río La Ligua. El estero La Patagua desemboca 12 Km al noroeste, en el río La Ligua. El área está a una cota aproximada de 300 m.s.n.m, rodeada por cumbres cercanas con cotas del orden de 1.000 m.s.n.m.

Diversas quebradas desembocan al Estero La Patagua desde los cerros del sector Este, siendo las principales las quebradas La Molle, Los Leones y Los Mantos.

4.2.1.4 CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE LOS SUELOS EXISTENTES EN EL SITIO

El análisis de los antecedentes dado por lo observado en terreno y por las calicatas, en los suelos del área permite caracterizar el suelo existente en el recinto como sigue:

- Las arenas gravosas con abundante fino de compacidad media a alta que forman el Estrato 1 se pueden caracterizar asignando los siguientes valores a sus parámetros geomecánicos:

ϕ	Angulo de fricción interna	35 °
C	Cohesión	8,80 (ton/m ²)
γ	Peso unitario Natural	2,00 (ton/m ³)
E_e	Módulo de Elasticidad Estático	300,0 (kg/cm ²)
E_d	Módulo de Elasticidad Dinámico	900,0 (kg/cm ²)
μ	Módulo de Poisson	0,30

El material proveniente de la excavación del Estrato 1, debidamente cortado en 3", homogeneizado y acopiado, podrá ser usado como material de relleno de confinamiento de fundaciones.

- Las arenas gravosas con abundante fino que forman el Estrato 2 son de buena calidad geomecánica y sobre ellos se puede fundar directamente las estructuras y se pueden caracterizar asignando los siguientes valores a sus parámetros geomecánicos:

ϕ	Angulo de fricción interna	35 °
c	Cohesión	1,00 (ton/m ²)
γ	Peso unitario Natural	2,00 (ton/m ³)
E_e	Módulo de Elasticidad Estático	400,0 (kg/cm ²)
E_d	Módulo de Elasticidad Dinámico	1.200,0 (kg/cm ²)
μ	Módulo de Poisson	0,30

El material proveniente de la excavación del Estrato 2, debidamente cortado en 3", homogeneizado y acopiado, podrá ser usado como material de relleno de confinamiento de fundaciones.

4.2.1.5. RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MURO

Dada la morfología del sitio la plataforma deberá ser construida solo a base de rellenos controlados, hechos con gravas arenosas limpias obtenidas de yacimiento o de planta cercanas al lugar de la obra, para no encarecer los costos específicos de la misma.

Además cabe señalar que la naturaleza gravosa de la matriz de los suelos involucrados, se considera necesario utilizar algún método de impermeabilización del muro aguas arriba en toda la superficie del muro para asegurar la impermeabilidad de ésta, para no tener problemas de filtración a través y por abajo del muro, a la vez mitigando el riesgo de una posible inundación del área donde están ubicadas las comunidades beneficiarias de este sistema.

Los rellenos que formarán la plataforma se deben construir como sigue:

- **Escarpe y tratamiento del sello de fundación del relleno que formará el muro.** Se debe hacer un escarpe de ~30 cm para retirar todo el suelo superficial.

El suelo existente a nivel de sello de excavación se deberá compactar con 6 pasadas por punto de un rodillo vibratorio liso de 10,00 toneladas de peso estático mínimo.

Una vez hecho lo anterior se deberá construir el relleno con las formas y dimensiones definidas en el proyecto del embalse.

- **Material**

Grava arenosa con menos de un 5% de fino y de 3" de tamaño máximo proveniente de yacimiento o de planta. Se debe disponer de un acopio único del material a usar. El material acopiado debe ser homogéneo.

Antes de comenzar los rellenos, deberá presentar a la Inspección el resultado de los siguientes ensayos del material que usará:

- Clasificación completa
- Densidad Máxima y Densidad Mínima.
- Proctor Modificado con Curva Proctor, Densidad Máxima y Humedad Óptima.
- Contenido de Sales Solubles

Se deben sacar un mínimo de 4 muestras del material acopiado y a cada muestra se le debe realizar los ensayos antes indicados. El análisis de estos antecedentes permitirá a la Inspección aprobar o rechazar el material ofrecido.

- **Colocación**

El material se colocará en capas de 30 cm de espesor máximo suelto y con un contenido de humedad igual a su óptima $\pm 2\%$, si presenta curva Proctor.

- **Compactación**

El material de cada capa se debe compactar hasta alcanzar una Densidad en Sitio mayor o igual al 95% de la Densidad Máxima de su Proctor Modificado o una Densidad Relativa mayor igual al 75%.

- **Control**

Se deberá verificar que se use el material aprobado y que se logre la densidad especificada en cada capa.

El grado de compactación se deberá controlar con un mínimo de 3 densidades en sitio por cada capa o una por cada 200 m² de capa. Las densidades deberán ser tomadas con el método del cono de arena.

4.2.2. PERMEABILIDAD DE SUELOS

El terreno presenta un primer relleno natural de escombros de falda de cerro al poniente y al oriente que forman el portezuelo. Este componente de gravas arenosa algo limosa y limo gravo arenoso de compacidad baja, se ubica entre los 0 m y los 3,0 m y tiene alta permeabilidad.

Del análisis de la granulometría de este primer estrato de suelo natural, representado típicamente por las dos muestras de la calicata profundas denominadas 0,0 m y 3,0 metros, se desprende que tiene una alta permeabilidad, hecho comprobado en la ejecución de la calicata profunda, en que se bombeo caudales mayores a 8 l/s, con depresiones prácticamente imperceptibles de la napa. Este estrato permeable aparece en otras calicatas construidas y junto con este afloramiento, aparecen filtraciones que se prolongan hasta unos 30 metros hacia aguas abajo por la ladera.

Bajo la escombrera se comprobó la existencia de un grueso manto morrénico de origen glacial. Sus permeabilidades representativas con el tramo en ensayo ubicado entre los 3,0 m y 10,65 m de profundidad, es del orden de 0,0002 cm³/s obtenidas según interpretación del método de medición por introducción de un tubo de diámetro conocido in situ. Estas morrenas ubicadas en un estrato más profundo, se han descrito visualmente durante la ejecución del sondaje, como arcillas, limos y gravas.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, el terreno presenta un primer relleno natural de escombros de falda de cerro al poniente y al oriente que forman el portezuelo. Este componente de gravas arenosa algo limosa y limo gravo arenoso de compacidad baja, este se ubica entre los 0 m y los 3,0 m y tiene alta permeabilidad. Se debe considerar la colocación de un producto y/o material para contrarrestar la permeabilidad ocasionada por el tipo de suelo y evitar el efecto de infiltración bajo el muro de contención. Para el resto del muro y como método constructivo se debe considerar el retiro del escarpe la colocación de relleno en todo el sector o área del muro.

Dada la naturaleza gravosa de la matriz de los suelos involucrados, se considera necesario utilizar algún método de impermeabilización del muro aguas arriba en toda la superficie del muro para asegurar la impermeabilidad de éste. Es preciso indicar que bajo el sello de fundación del muro se deberá construir una pared moldeada para evitar filtraciones bajo el muro, con un mínimo de profundidad de 3 metros.

4.2.3. TOPOGRAFÍA

Para proyectar el embalse, se realiza una vinculación geodésica, trasladando las coordenadas desde el vértice IGM SIRGAS La Ligua, hasta la zona de interés, materializando en terreno dos Puntos de referencias denominados Patagua 1 y Patagua 2. A partir de este punto topográfico se realiza las curvas de nivel y posteriormente el replanteo. Este estudio fue realizado por la empresa Geométrica E.I.R.L.

La georeferenciación de los puntos de referencia obtenidos en el levantamiento topográfico se encuentran ligadas a los vértices IGM SIRGAS "QPOB", e IGM SIRGAS "POZA" pertenecientes a la Red Geodésica del Instituto Geográfico Militar, a partir de estos vértice se logra georeferenciar el levantamiento en coordenadas planas UTM, en el datum PSAD-1956.



Figura 23: Localización de puntos IGM SIRGAS. [Fuente: Localización de puntos IGM del Instituto Geográfico Militar. (2010), Recuperado el 10 de Enero del 2015, de <http://www.geoportal.cl/Visor/>]

Para lograr trasladar las coordenadas conocidas hasta la zona de interés, fue necesaria la materialización de un vértice auxiliar denominado AUX 1, este último corresponde al vértice base empleado en el levantamiento topográfico.

Para los amarres de los puntos de referencia, se utilizaron equipos geodésicos, cuya precisión en posicionamiento estático es de +/- 5 mm +/- 1 ppm.

Para el arrastre de coordenadas fue empleado un posicionamiento diferencial DGPS, empleando el método estático, permaneciendo por 30 minutos en cada uno de los vértices auxiliares, dependiendo este tiempo de la magnitud de los vectores generados y de la precisión alcanzada. La precisión obtenida bajo esta metodología es milimétrica, obteniendo un error medio cuadrático promedio de 0,001 m.

Tabla 12: Coordenadas Geodésicas

<i>VERTICE</i>	<i>NORTE</i>	<i>ESTE</i>	<i>ELEVACIÓN</i>
IGM SIRGAS “QPOB”	6.412.391,000	291.915,000	278
IGM SIRGAS “POZA”	6.415.528,000	307.111,000	1070
AUX 1	6.398.780,744	298.643,206	256,886

Fuente: Elaborado por empresa de topografía, geométrica E.I.R.L.

Las coordenadas almacenadas por el receptor base son autónomas, para esto se deben indicar las coordenadas fijas del vértice “QPOB”, otorgadas por el instituto geográfico militar, de esta forma, procesar los puntos de referencias, aplicando las correcciones atmosférica tanto de la troposfera como la ionosfera, así como también la corrección de los errores orbitales, mediante el envío de efemérides desde el satélite al receptor base.

Tabla 13: Coordenadas PR

<i>VERTICE</i>	<i>NORTE</i>	<i>ESTE</i>	<i>ELEVACION</i>
PATAGUA 1	6.398.706,543	298.222,787	245,113
PATAGUA 2	6.398.415,093	298.878,121	270,649

Fuente: Elaboración por empresa de topografía, geométrica E.I.R.L.



Ya con las coordenadas trasladadas a la zona de interés, se realizó el replanteo de los puntos de referencias y levantamiento topográfico para determinar el tamaño aproximado de la zona inundada, la localización y altura optima del muro. Para obtener datos para el proyecto, se hace un levantamiento del lugar. Al realizar un levantamiento se toma con detalle suficiente para definir no solamente el mismo muro, sino también, las estructuras correspondientes y la planta de construcción necesaria.

Se ejecuta un levantamiento de las propiedades de la zona que va a quedar inundada, directamente afectada por el depósito de agua propuesto. Antes de empezar la construcción, se construyen de manera permanente varias estaciones de tránsito, puntos de referencia, y bancos de nivel aguas arriba y aguas abajo del muro, en lugares y elevaciones convenientes para visar las diferentes etapas de la estructura al avanzar el trabajo. Estos puntos de referencia, generalmente, se establecen por triangulación de una base medida en una de las laderas del valle, y todos los puntos se refieren a un sistema de coordenadas rectangulares, tanto en planta como en elevación.

4.2.4 PRECIPITACIONES

En el área del estero de La Patagua, existen cursos de agua esporádicos, como producto de las precipitaciones que ocurren en invierno. La precipitación anual máxima es del orden de los 300 mm, en tanto que las máximas precipitaciones mensuales ocurren en agosto y septiembre, con valores entre los 120 y 100 mm aproximadamente.

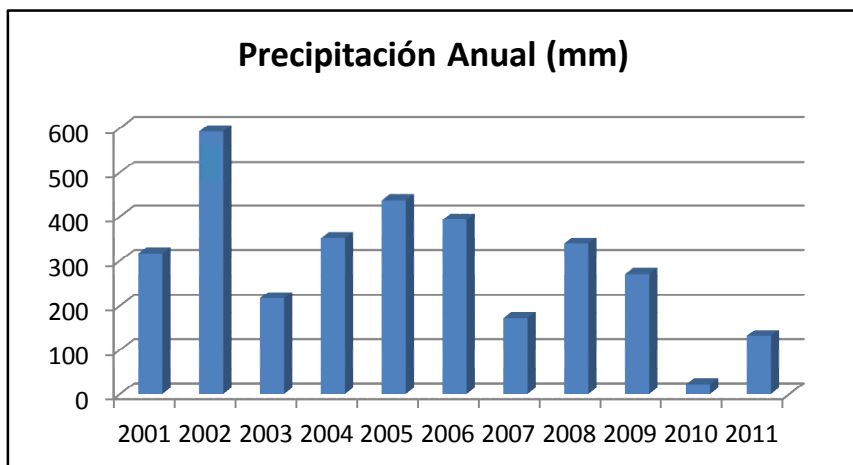


Figura 24: Precipitación Anual Estación Las Pataguas (2001-2011). [Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (2013). *Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de las Cuencas del Río Petorca y Río La Ligua Región de Valparaíso*. Santiago, Chile: [s.n]]

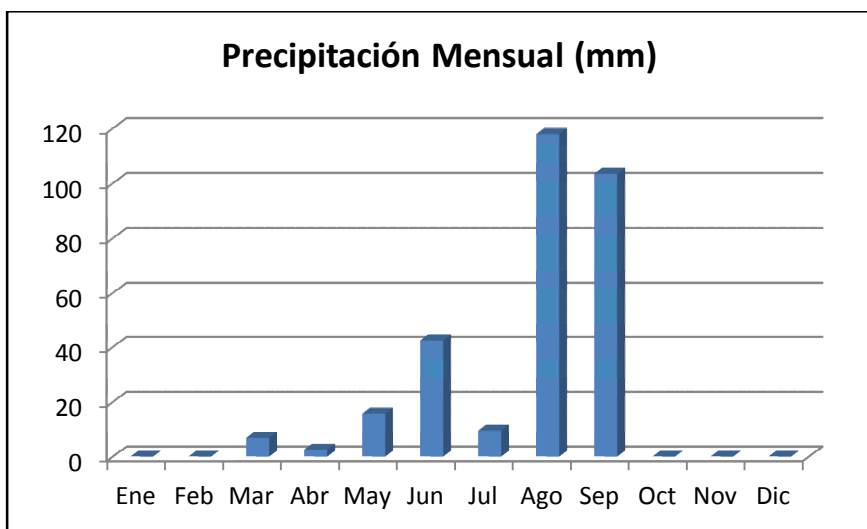


Figura 25: Precipitación Mensual Estación Las Pataguas (2001-2011). [Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (2013). *Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de las Cuencas del Río Petorca y Río La Ligua Región de Valparaíso*. Santiago, Chile: [s.n]]

4.2.5. SUPERFICIE Y CULTIVOS A REGAR

El estudio consiste en la acumulación de aguas en un embalse de los recursos provenientes del estero La Patagua.

En términos generales se debe señalar que el área se encuentra en la comuna de La Ligua y está constituida por parcelas de tamaño medio, lo que da en promedio una superficie media de las propiedades, de 4,8 hectáreas.

El uso actual del suelo de este sector se caracteriza por el predominio de frutales como chirimoyo, limonero y palto y, en menor proporción, chacras y hortalizas como papa y poroto granado. El detalle de la superficie, tanto encuestada como expandida al total del área, se presenta en la tabla 14.

Tabla 14: Uso Actual del Suelo y Expandido a Total Área de Interés (ha)

Rubro Productivo (Especie)	Proporción Riego Tecnificado (%)	Resultado Uso Actual suelo Según Encuesta		Expandido al Área Específica de Estudio	
		ha	%	ha	%
Riego Frutales					
Chirimoyo		11,00	12,94	138,43	12,94
Limón	40,00	2,00	2,35	25,14	2,35
Palto	85,00	65,60	77,18	825,67	77,18
Riego C. Anuales					
Papa		2,40	2,82	30,17	2,82
Riego Hortalizas Aire Libre					
Poroto Granado	25,00	4,00	4,71	50,39	4,71
Sub-Total Riego		85,00	99,30	1.069,80	99,30
Sin Uso No Regable		0,60	0,70	7,54	0,70
TOTAL		85,60	100,00	1.077,34	100,00

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (2013). Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de las Cuencas del Rio Petorca y Rio La Ligua Región de Valparaíso. Santiago, Chile: [s.n]

El nivel tecnológico de los agricultores se clasifica como medio, por cuanto los productores aplican fertilizantes, pesticidas y utilizan maquinaria agrícola de

tracción mecánica, pero sólo una parte de las plantaciones frutales se riegan a través de métodos presurizados.

Entre las principales restricciones al desarrollo informadas se encuentra el agua, el costo de elevación del agua subterránea, los bajos precios de los productos y el financiamiento.

Considerando las intenciones de cultivo sugeridas y las superficies potenciales de riego, a continuación se presenta en la tabla 15 para fines de determinación de las demandas futuras unitarias, el dimensionamiento del embalse y el uso Futuro para el total del área.

Tabla 15: Uso Futuro del Suelo para el Total Área de Interés (ha)

Rubro Productivo (Especie)	Proporción Riego Tecnificado (%)	Uso Futuro en Área Específica de Estudio	
		ha	%
Riego Frutales			
Chirimoyo	100,00	138,43	12,85
Limón	100,00	25,14	2,33
Mandarina	100,00	15,00	1,39
Palto	100,00	841,23	78,08
Riego C. Anuales			
Papa		35,00	3,25
Riego Hortalizas Aire Libre			
Choclo	100,00	5,00	0,46
Poroto Granado	100,00	5,00	0,46
Tomate	100,00	5,00	0,46
Sub-Total Riego		1.077,34	100,00
Sin Uso No Regable		7,54	
TOTAL		1.077,34	100,00

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (2013). Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de las Cuencas del Rio Petorca y Rio La Ligua Región de Valparaíso. Santiago, Chile: [s.n]

Cabe señalar que para efectos de aprovechar al máximo los escasos recursos hídricos disponibles se ha tomado el supuesto de que la totalidad de los frutales



y hortalizas asignadas en situación futura sean regados con métodos presurizados.

4.2.6. OFERTA DE AGUA

La oferta legal de las aguas disponibles para embalsar en el área de interés El Carmen – La Higuera, correspondiente al estero La Patagua, corresponde a un 47,46 % de las aguas disponibles del estero La Patagua. Además los regantes beneficiarios del proyecto poseen el 100% de los derechos de agua del estero La Patagua, utilizados para riego equivalente a 157,9 l/s anuales.

De acuerdo con ello, los caudales disponibles para embalsar son los que se incluyen en la tabla siguiente.



Tabla 16: Oferta Hídrica Legal Embalse La Patagua (l/s)

Estación	LAS PATAGUAS												
Código BNA	05220007-5			Latitud S	32 32 00	UTM Norte	6398391	mas					
Altitud	350	msnm			Longitud W	71 07 00	UTM Este	300007	mas				
Cuenca	Rio Ligua			SubCuenca	Rio Ligua Bajo (Entre Estero Los Angeles y Desembocadura)								

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0	0	0	18,5	6	0,5	61,5	44	20,9	0	14,1	1	166,5
1980	0	0	0	80,9	19,2	44,9	155,7	15,3	96,5	0	0	0	412,5
1981	0	0	0	0	221,3	45,5	10,8	6,5	7	0	0	0	291,1
1982	0	0	20,5	0	112	197	97,4	96	17	15,5	0	0	555,4
1983	1	0	0	7	45	120	135	63	15	0	0	0	386
1984	0	0	1,3	0	65,1	10,3	448,4	33,9	29,7	5,2	1	0	594,9
1985	0	0	15,3	0	27,4	4,9	68,5	0	1,8	15,2	0	0	133,1
1986	0	0	0	8,3	176,4	110,3	0	53,8	1,8	0	13,2	0	363,8
1987	0	0	0	3,6	59,2	47,2	474,5	213,6	11,8	24,2	0	0	834,1
1988	0	0	3	0	2,8	32,3	70,7	60	5	0	6,2	1,4	181,4
1989	0	0	0	9,5	29,6	7,1	119,9	102,3	1,3	0	0	0	269,7
1990	0	0	1,4	0	2,7	0	46,2	44,3	23,2	-	0	0	117,8
1991	0	0	0	6,5	38,6	218,2	90,2	1,9	35,8	11	0	0	402,2
1992	0	0	29,5	39,9	144,6	234,3	1,3	69,8	6,8	0	-	0	526,2
1993	0	0	0	110,1	84,4	24,2	41,5	44,8	1,6	0	0	0	306,6
1994	0	0	0	0	56	23,5	90	26,3	19,5	0	0	3,5	218,8
1995	7,5	0	0	29	0	75,5	90,5	64,3	-	-	-	0	266,8
1996	0	0	0	21,1	8,2	30,7	57,9	45,2	1,3	13	0	1,8	179,2
1997	0	0	1,7	0	163	318	66,1	-	70,6	84	0	0	703,4
1998	0	0	0	15,1	14,8	35	0	0	7,5	0	-	0	72,4
1999	0	0	6,9	2,7	16	42,5	9,8	118	103,5	-	0	0	299,4
2000	-	0	0	7,3	5,6	294,7	21,6	0	115,9	0	0	0	445,1
2001	0	0	1,6	5,2	47,9	0	206,4	39,7	13,3	2,6	0	0	316,7
2002	0	0	1,2	3,5	132,8	234,7	146,1	71,1	3,5	0	0	0	592,9
2003	0	0	0	0	85,5	50	66	10,5	0	0	5,3	0	217,3
2004	0	0	19,8	39,1	9,2	42	107,2	84,8	14	0	36,8	0	352,9
2005	0	0	16	0	46,9	94	47,8	194,5	14	6,1	19,3	0	438,6
2006	0	0	0	2,5	3	95,3	184,5	39	0	68,5	0	0	392,8
2007	0	1,2	0	0	1,3	112,5	22,2	34	0	0	0	0	171,2
2008	0	0	11,2	23,8	61,5	52	70,5	105,2	15	0	0	0	339,2
2009	0	0	0	0	0	143,5	25,5	98,5	4,8	0	0	0	272,3
2010	0	0	0	0	-	-	-	0	11	1,5	10	0	22,5
2011	0	0	0	0	0	66	52	14	-	0	0	-	132
Promedia anual													332,6

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (2013). Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de las Cuencas del Rio Petorca y Rio La Ligua Región de Valparaíso. Santiago, Chile: [s.n]

4.3. DISEÑO DEL EMBALSE

4.3.1. CURVA DEL EMBALSE

De acuerdo a las estaciones y puntos de referencias, se establece las cotas y curvas de nivel del embalse en estudio, a partir de los datos se establece los volúmenes parciales y acumulados aproximados de acuerdo a cada cota, mediante la formula

$$vol\ parcial = \frac{(A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2})}{3} * K \left[m^3 \right] \tag{17}$$

Dónde:

A1 y A2 : superficies inundadas en los niveles 1 y 2 en m².

K : la diferencia de nivel entre ambas superficies en metros.

Mientras más cercanas estén una curva de nivel con la otra es mejor, es decir, mientras más detalle tenga la topografía efectuada en el terreno, mayor precisión habrá en el cálculo del volumen a embalsar.

Tabla 17: Curva superficie y volumen embalse El Carmen – La Higuera

Cota [msnm]	Área [m ²]	Volumen Parcial [m ³]	Volumen Acumulado [m ³]
245,0	0	0	0
250,0	52.430	131.075	131.075
260,0	259.233	1.558.315	1.689.390
270,0	565.579	4.124.060	5.813.450
280,0	943.417	7.544.980	13.358.430

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos anteriores se desprende el siguiente gráfico de curva del embalse El Carmen – La Higuera:

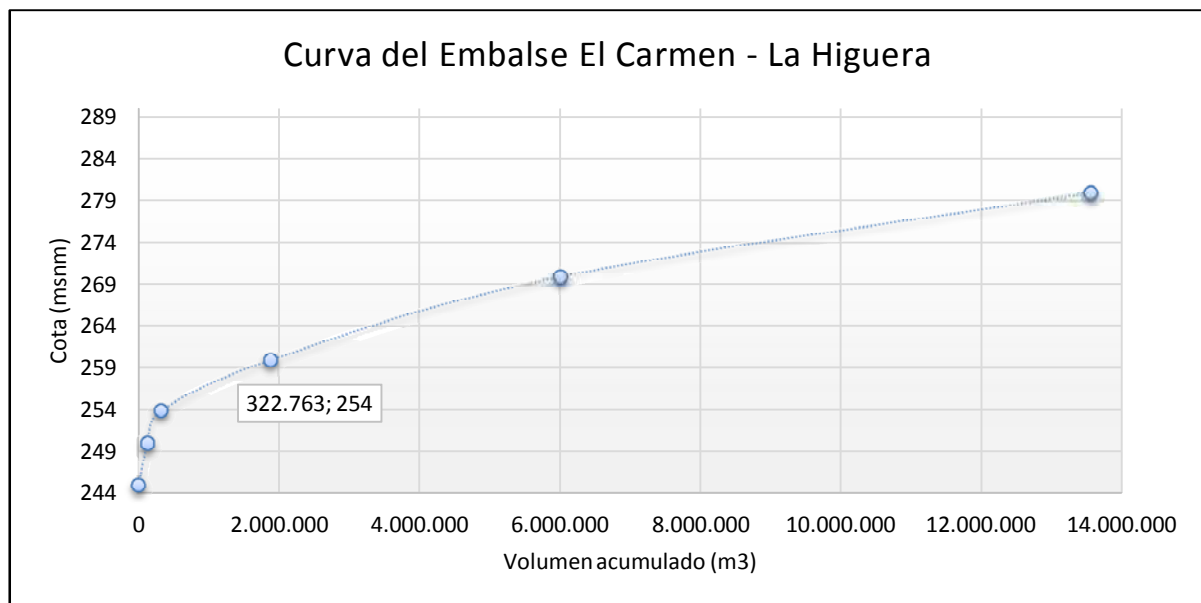


Figura 26: Curva de Embalse Volumen Embalsado vs Cota. [Fuente: Elaboración propia]

A partir del grafico se obtiene una aproximación del depósito de agua que contendrá el embalse de regulación interanual.

Dadas las condiciones de terreno y las alturas máximas de los cerros aledaños a la obra, el estudio topográfico señala que no podemos construir un muro con una altura superior a los 9 metros, por lo tanto la cota de coronación será de 254 (msnm). Esta altura límite se respetará para garantizar las condiciones mínimas de seguridad a las comunidades beneficiadas con la construcción de la obra.

Con esta medida se mantendrá la seguridad de riego y la seguridad de un posible rebase de las aguas sobre el muro en cuestión. De acuerdo con lo anterior, el volumen total a embalsar quedará definida mediante la ecuación:

$$y = 7 \cdot 10^{-20} \cdot x^3 - 10^{-12} \cdot x^2 + 10^{-5} \cdot x + 246,73 \quad (18)$$

$$R^2 = 0,9917$$

Reemplazando la cota de coronación (254 msnm), en la fórmula 18, el volumen total a embalsar corresponde a **322.763 m³**, además de acuerdo al volumen a embalsar se proyecta un área de inundación aproximada de 6 hectáreas, de acuerdo al volumen a considerado, como se muestra en la figura 27.

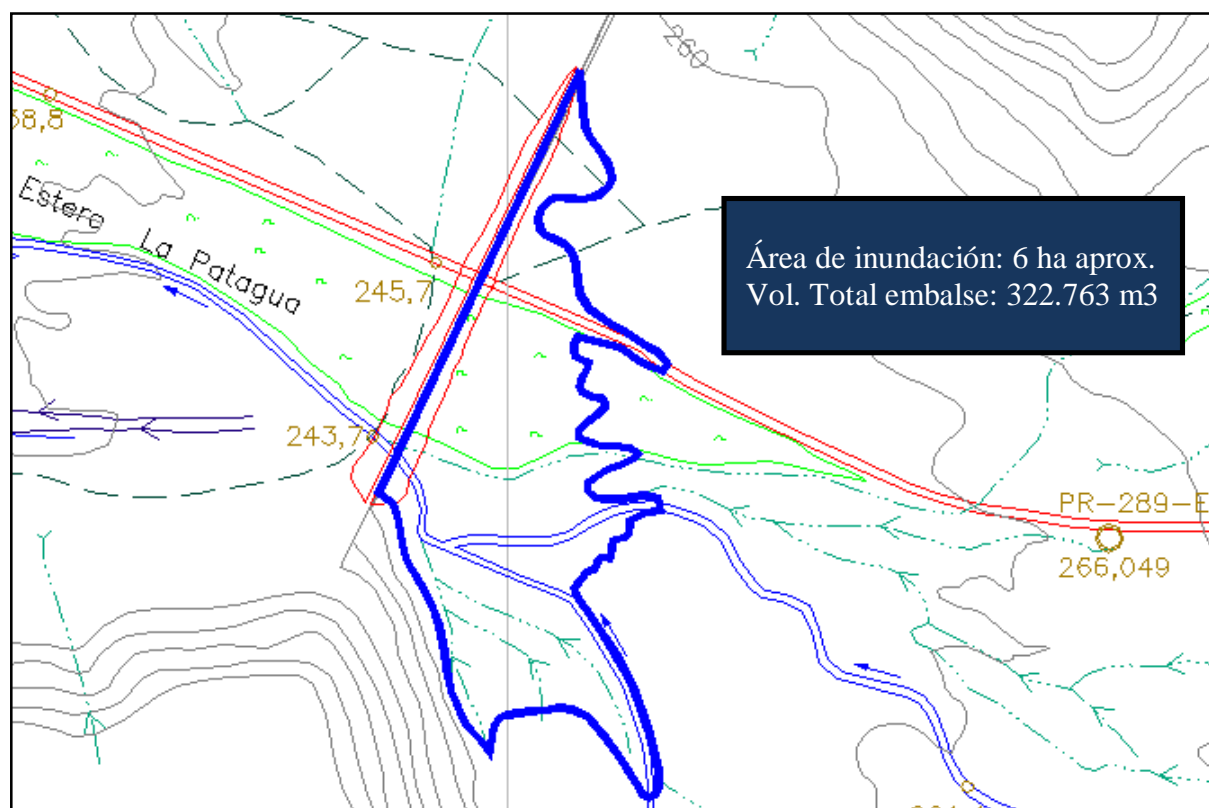


Figura 27: Área de inundación Embalse La Patagua. [Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (2007), *Estudio de Localización de Embalses Menores y Balance Hídrico, Valles de la Ligua y Petorca*. Santiago, Chile: [s.n].]

En la figura se puede apreciar el área aproximada de inundación que abarcará el sector aguas arriba del muro, según el esquema, el área a inundar es de 6 hectáreas y su volumen a embalsar corresponderá a 322.763 m³ aguas arriba del muro.

4.3.2. DISPOSICIÓN DEL MURO

Por condiciones de diseño impuestas por la topografía del lugar de estudio, el muro debe tener una altura máxima de 9 m.

De acuerdo al manual de embalses pequeños, las características que debe tener un embalse de tierra deben ser las siguientes:

Altura Máxima=	9 m
Ancho del Coronamiento=	4,8 m
Talud Aguas Arriba=	1:2,5 (V:H)
Talud Aguas Abajo=	1:2,0 (V:H)

Dada la naturaleza gravosa de la matriz de los suelos involucrados, se considera necesario utilizar algún método de impermeabilización del muro aguas arriba en toda la superficie del muro para asegurar la impermeabilidad de ésta.

4.3.3. DEFINICIÓN DE OBRAS Y COTAS CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

Los antecedentes que serán utilizados para el diseño de las obras son los siguientes:

- Volumen de almacenamiento o regulación $V = 322.763 \text{ m}^3$
- Crecidas

Tabla 18: Crecidas Cuenca Aportante Estero La Patagua

CUENCA APORTANTE	PERIODO DE RETORNO (años)						
	2	5	10	20	25	50	100
El Carmen y La Higuera (m3/s)	8	33	53	77	88	118	157

Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (2007), *Estudio de Localización de Embalses Menores y Balance Hídrico, Valles de la Ligua y Petorca*. Santiago, Chile: [s.n].

Según el Manual de Obras Menores de Riego de la CNR, para un embalse de capacidad entre 50.000 y 1.500.000, el diseño del vertedero se debe hacer para 250 años de período de retorno.

El caudal para 250 años se ha obtenido al extrapolar los valores presentados en cuadro anterior (curva logarítmica con últimos 4 valores, $R^2 = 0,996$); se ha incluido además el caudal para 1.000 años de período de retorno, también calculado por extrapolación.

Q 250= 200 m3/s

Q 1.000= 268 m3/s

- Vida útil para cálculo volumen muerto VU = 50 años
- Área hoya aportante al embalse A= 98 km²

La cota de coronamiento se define como:

Cota de Coronamiento (CC)= Cota del Vertedero (CV) + $h_{Q_{250}}$ + h_{ola} + revancha (19)

Dónde:

CC : Cota coronamiento

CV : Cota vertedero

$h_{Q_{250}}$: Altura de aguas en vertedero para caudal de 250 años período de retorno

h_{ola} : Altura de ola

$h_{revancha}$: Desnivel mínimo entre CC y CV

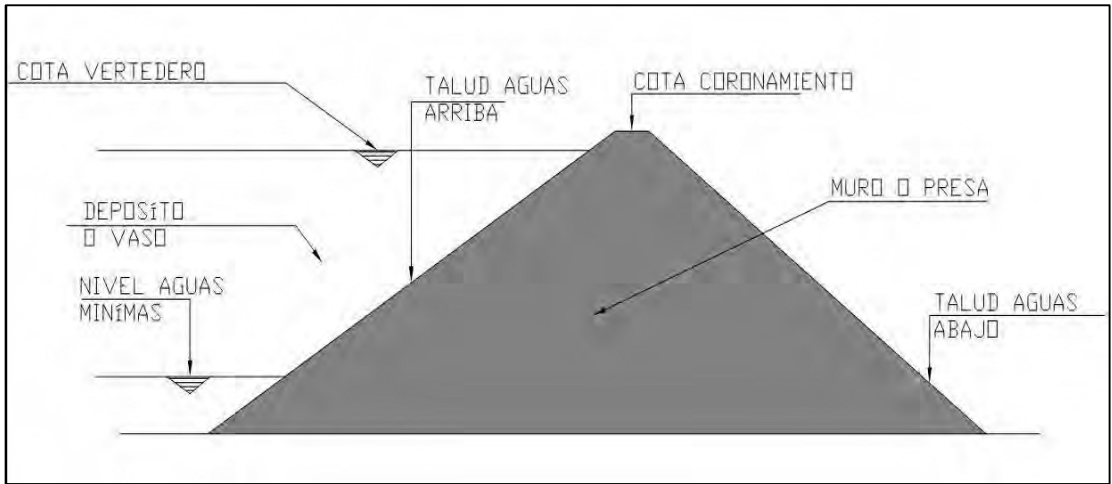


Figura 28: Disposición de muro. [Fuente: Elaboración propia.]

$Q_{250} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ $h = 1,37 \text{ m}$ $h_{revancha} = 0,6 \text{ m}$ $h_{ola} = 0,75 \text{ m}$

Debido a las restricciones de altura de muro (9 m) y a lo pequeño que resultará el embalse, se utilizará un período de retorno de 250 años y se eliminará el valor de la altura de la ola.

Como la cota de coronamiento es fija (254 msnm), la cota del vertedero será:

$$\text{Cota del Vertedero} = 254 - 1,37 - 0,6 = 252,03 \text{ msnm} \approx 252 \text{ msnm}$$

4.3.4. ESTUDIO DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS

Las fuentes de sedimentos que ingresarán al embalse La Patagua se pueden clasificar en dos tipos:

- a) *Sedimentos en suspensión.* Se trata de partículas con diámetros menores a 1 o 2 mm que la corriente arrastra en forma suspendida, y que provienen de la erosión de los suelos que forman la cuenca, así como de deslizamientos o movimientos en masa que la lluvia arrastra hasta los cauces.
- b) *Sedimentos gruesos o carga de fondo.* Se trata de partículas de 2 mm en adelante que son arrastrados por la corriente y que esencialmente se deslizan por el fondo del río.

En esta etapa del estudio, y como una primera aproximación, se utilizará para la definición del volumen muerto, la relación de las áreas de las hoyas aportantes de los embalses La Patagua y Corrales, éste último ubicado en el Estero Camisas y concluida su construcción, para así obtener, a partir del volumen muerto determinado para Corrales, el correspondiente a La Patagua.

En el caso del embalse Corrales, para un período de 50 años, se determinó un volumen muerto de 1.400.000 m³, teniendo este embalse una hoya aportante de 264 km². En el caso del presente estudio, el embalse La Patagua posee una hoya aportante de 98 km², por lo que mediante una simple relación lineal de áreas se pudo concluir que el volumen muerto que se adoptará para este caso es:

$$98/264 \times 1.400.000 = 519.696 \approx 520.000 \text{ m}^3$$

El valor que resulta de aplicar una relación lineal es poco menos que el total del volumen considerado para este embalse.

De acuerdo a los criterios establecidos por el Manual de Obras Menores de Riego, se recomienda un volumen correspondiente al 10% del volumen útil del embalse, es decir, considera un volumen muerto de **29.342 m³**; se estima que este valor es más razonable que el de 520 mil m³.

De acuerdo a lo anterior, nuestro volumen útil del embalse en estudio corresponde a **293.421 m³**, método propuesto por el manual de obras menores de riego.

Fuente: Centro de Información de Recursos Naturales (1996). *Manual de Obras Menores de Riego*. Santiago, Chile: [s.n].

4.3.5. DISEÑO DEL VERTEDERO DE CRECIDAS CON CANAL LATERAL

Tipo de Vertedero: Vertedero Lateral con Canal Colector: se denomina vertedero de canal colector, aquél que descarga en un canal paralelo al umbral del vertedero (canal colector), el cual se comunica con el canal de descarga (rápido de descarga). El escurrimiento en el canal colector debe ser de régimen tranquilo o de río; para garantizarlo, el tramo final del colector debe terminar en una sección de control (estrechamiento o un escalón).

- Caudal de Diseño: 200 m³/s (T= 250 años).
- La obra debe ser autónoma en su operación, exenta de compuertas o mecanismos que signifiquen riesgos en su operación.
- Se deberá asegurar un régimen subcrítico en el canal colector y en el canal de transición antes del rápido de descarga.
- La pendiente longitudinal del colector debe asegurar un escurrimiento subcrítico y el vertimiento de la crecida de diseño sin influencias de aguas abajo.



- La disipación de energía al final del rápido se hará a través de un cuenco del tipo USBR tipo III.

Fuente: Domínguez, Francisco Javier. (1945). *Curso de hidráulica*. Santiago, Chile: Segunda edición ampliada.

A continuación se incluyen los ejes hidráulicos que se producen para el caudal de diseño en el canal colector y en el rápido de descarga. Esto con el fin de demostrar que las alturas máximas del caudal, no rebasaran el muro del vertedero. Ver plano de diseño, anexo 1.

Tabla 19: EJE HIDRAULICO EN CANAL COLECTOR

Longitud Canal	200	m
i	0.02	
Kd	0.667	H/V
Ki	0.667	H/V
n	0.016	
h _{inicio}	5.369	m

X m	dx m	b m	Q m3/s	h m	A m2	P m	V m/s	R m	J
60.0	1.5	8.0	200.0	5.369	62.169	20.905	3.217	2.974	0.001
58.5	1.5	7.9	195.0	5.391	62.098	20.883	3.140	2.974	0.001
57.0	1.5	7.9	190.0	5.411	62.001	20.857	3.064	2.973	0.001
55.5	1.5	7.8	185.0	5.430	61.879	20.828	2.990	2.971	0.001
54.0	1.5	7.7	180.0	5.448	61.735	20.795	2.916	2.969	0.001
52.5	1.5	7.6	175.0	5.464	61.569	20.759	2.842	2.966	0.001
51.0	1.5	7.6	170.0	5.479	61.383	20.720	2.770	2.962	0.001
49.5	1.5	7.5	165.0	5.493	61.177	20.679	2.697	2.958	0.001
48.0	1.5	7.4	160.0	5.506	60.954	20.635	2.625	2.954	0.001
46.5	1.5	7.3	155.0	5.518	60.712	20.588	2.553	2.949	0.001
45.0	1.5	7.3	150.0	5.528	60.453	20.538	2.481	2.943	0.001
43.5	1.5	7.2	145.0	5.538	60.178	20.486	2.410	2.937	0.001
42.0	1.5	7.1	140.0	5.546	59.887	20.432	2.338	2.931	0.001
40.5	1.5	7.0	135.0	5.554	59.580	20.375	2.266	2.924	0.001
39.0	1.5	7.0	130.0	5.560	59.251	20.315	2.194	2.917	0.001
37.5	1.5	6.9	125.0	5.566	58.915	20.253	2.122	2.909	0.001
36.0	1.5	6.8	120.0	5.570	58.563	20.189	2.049	2.901	0.001
34.5	1.5	6.7	115.0	5.574	58.197	20.123	1.976	2.892	0.001
33.0	1.5	6.7	110.0	5.577	57.817	20.055	1.903	2.883	0.001
31.5	1.5	6.6	105.0	5.578	57.423	19.984	1.829	2.873	0.001
30.0	1.5	6.5	100.0	5.579	57.015	19.911	1.754	2.864	0.001
28.5	1.5	6.4	95.0	5.579	56.594	19.835	1.679	2.853	0.001
27.0	1.5	6.4	90.0	5.578	56.158	19.757	1.603	2.842	0.001
25.5	1.5	6.3	85.0	5.575	55.709	19.677	1.526	2.831	0.001
24.0	1.5	6.2	80.0	5.572	55.246	19.594	1.448	2.820	0.001
22.5	1.5	6.1	75.0	5.568	54.769	19.508	1.369	2.807	0.001
21.0	1.5	6.1	70.0	5.562	54.278	19.420	1.290	2.795	0.001
19.5	1.5	6.0	65.0	5.556	53.773	19.329	1.209	2.782	0.001
18.0	1.5	5.9	60.0	5.548	53.253	19.236	1.127	2.768	0.001
16.5	1.5	5.8	55.0	5.539	52.719	19.139	1.043	2.755	0.001
15.0	1.5	5.8	50.0	5.529	52.171	19.040	0.958	2.740	0.001
13.5	1.5	5.7	45.0	5.517	51.607	18.937	0.872	2.725	0.001
12.0	1.5	5.6	40.0	5.505	51.027	18.832	0.784	2.710	0.001
10.5	1.5	5.5	35.0	5.490	50.432	18.722	0.694	2.694	0.001
9.0	1.5	5.5	30.0	5.475	49.820	18.610	0.602	2.677	0.001
7.5	1.5	5.4	25.0	5.458	49.191	18.493	0.508	2.660	0.001
6.0	1.5	5.3	20.0	5.439	48.544	18.373	0.412	2.642	0.001
4.5	1.5	5.2	15.0	5.418	47.878	18.248	0.313	2.624	0.001
3.0	1.5	5.2	10.0	5.395	47.192	18.119	0.212	2.605	0.001
1.5	1.5	5.1	5.0	5.371	46.486	17.985	0.108	2.585	0.001
0.0	1.5	5.0	0.0	5.344	45.758	17.845	0.000	2.564	0.001

Fuente: Domínguez, Francisco Javier. (1945). *Curso de hidráulica*. Santiago, Chile: Segunda edición ampliada.

Dónde:

- i : pendiente longitudinal
- Kd : Pendiente de talud derecho



- Ki : Pendiente de talud izquierdo
- n : Coeficiente de rugosidad de manning
- h_{inicio} : Altura de agua en cada tramo
- x : Distancia de cada tramo
- dx : Longitud de cada tramo
- b : Ancho del canal
- Q : Caudal en cada tramo
- A : Área hidráulica
- P : Perímetro mojado
- V : Velocidad
- R : Radio hidráulico
- J : Perdidas friccionales

Tabla 20: EJE HIDRAULICO CANAL DE TRANSICION Y DE DESCARGA

Caudal	200	m3/s
Ancho	8	m
n	0.016	
h _{inicio}	3.994	m

h m	Kd h/v	Ki h/v	A m2	R m	V m/s	J m/m	Jm m/m	B m	X m
4.0	0.00	0.00	32.0	2.0	6.3	0.004	0.000	6.0	20.0
4.4	0.02	0.02	35.2	2.1	5.7	0.003	0.004	6.0	19.0
4.5	0.04	0.04	36.9	2.2	5.4	0.003	0.003	6.0	18.0
4.6	0.07	0.07	38.3	2.2	5.2	0.002	0.003	6.0	17.0
4.7	0.09	0.09	39.5	2.3	5.1	0.002	0.002	6.0	16.0
4.8	0.11	0.11	40.7	2.3	4.9	0.002	0.002	6.0	15.0
4.8	0.13	0.13	41.9	2.4	4.8	0.002	0.002	6.0	14.0
4.9	0.15	0.15	43.0	2.4	4.7	0.002	0.002	6.0	13.0
5.0	0.18	0.18	44.0	2.4	4.5	0.002	0.002	6.0	12.0
5.0	0.20	0.20	45.1	2.5	4.4	0.002	0.002	6.0	11.0
5.1	0.22	0.22	46.1	2.5	4.3	0.001	0.001	6.0	10.0
5.1	0.24	0.24	47.1	2.5	4.2	0.001	0.001	6.0	9.0
5.1	0.27	0.27	48.1	2.6	4.2	0.001	0.001	6.0	8.0
5.2	0.29	0.29	49.1	2.6	4.1	0.001	0.001	6.0	7.0
5.2	0.31	0.31	50.1	2.6	4.0	0.001	0.001	6.0	6.0
5.2	0.33	0.33	51.0	2.7	3.9	0.001	0.001	6.0	5.0
5.3	0.35	0.35	52.0	2.7	3.8	0.001	0.001	6.0	4.0
5.3	0.38	0.38	52.9	2.7	3.8	0.001	0.001	6.0	3.0
5.3	0.40	0.40	53.9	2.8	3.7	0.001	0.001	6.0	2.0
5.3	0.42	0.42	54.8	2.8	3.6	0.001	0.001	6.0	1.0
5.4	0.44	0.44	55.7	2.8	3.6	0.001	0.001	6.0	0.0

Fuente: Domínguez, Francisco Javier. (1945). *Curso de hidráulica*. Santiago, Chile: Segunda edición ampliada.

Dónde:

n : Coeficiente de rugosidad de manning

h_{inicio} : Altura de agua en cada tramo

Kd : Pendiente de talud derecho

Ki : Pendiente de talud izquierdo

A : Área hidráulica

R : Radio hidráulico

V : Velocidad



- J : Perdidas friccionales
- Jm : Promedio de perdidas friccionales de dos tramos
- B : Ancho del canal
- x : Distancia en cada tramo

Tabla 21: EJE HIDRÁULICO – RÁPIDO DE DESCARGA

Caudal	200	m3/s
Ancho	8	m
K	0.000	H/V
n	0.016	
h _{inicio}	3.994	m
dX	dY	dL
23	3.500	23.265
cos (alfa) =	0.989	
sin (alfa)=	0.150	
i	0.152	

X	h	A	R	V	J	B'	F	Hmin
m	m	m2	m	m/s	m/m	m		m
0	4.0	31.6	2.0	6.3	0.004	6.0	1.0	4.6
1	4.7	36.8	2.1	5.4	0.003	6.1	0.8	5.3
2	3.3	26.5	1.8	7.6	0.007	6.2	1.3	4.0
2	3.2	25.4	1.8	7.9	0.007	6.3	1.4	3.9
3	3.1	24.6	1.7	8.1	0.008	6.4	1.5	3.8
4	3.0	23.9	1.7	8.4	0.009	6.6	1.5	3.7
5	3.0	23.3	1.7	8.6	0.009	6.7	1.6	3.6
5	2.9	22.8	1.7	8.8	0.010	6.8	1.6	3.5
6	2.8	22.3	1.6	9.0	0.011	6.9	1.7	3.5
7	2.8	21.9	1.6	9.1	0.011	7.0	1.8	3.4
8	2.7	21.5	1.6	9.3	0.012	7.1	1.8	3.4
8	2.7	21.1	1.6	9.5	0.012	7.2	1.8	3.3
9	2.6	20.8	1.6	9.6	0.013	7.3	1.9	3.3
10	2.6	20.5	1.6	9.8	0.013	7.4	1.9	3.2
11	2.6	20.2	1.5	9.9	0.014	7.5	2.0	3.2
12	2.5	19.9	1.5	10.0	0.015	7.6	2.0	3.2
12	2.5	19.7	1.5	10.2	0.015	7.7	2.1	3.1
13	2.5	19.4	1.5	10.3	0.016	7.8	2.1	3.1
14	2.4	19.2	1.5	10.4	0.016	7.9	2.1	3.1
15	2.4	19.0	1.5	10.6	0.017	8.1	2.2	3.0
15	2.4	18.7	1.5	10.7	0.017	8.2	2.2	3.0
16	2.3	18.5	1.5	10.8	0.018	8.3	2.3	3.0
17	2.3	18.3	1.5	10.9	0.018	8.4	2.3	3.0
18	2.3	18.2	1.4	11.0	0.019	8.5	2.3	2.9
18	2.3	18.0	1.4	11.1	0.020	8.6	2.4	2.9
19	2.3	17.8	1.4	11.2	0.020	8.7	2.4	2.9
20	2.2	17.6	1.4	11.3	0.021	8.8	2.4	2.9
21	2.2	17.5	1.4	11.4	0.021	8.9	2.5	2.9
21	2.2	17.3	1.4	11.5	0.022	9.0	2.5	2.8
22	2.2	17.2	1.4	11.6	0.022	9.1	2.5	2.8
23	2.2	17.0	1.4	11.7	0.023	9.2	2.6	2.8

Fuente: Domínguez, Francisco Javier. (1945). *Curso de hidráulica*. Santiago, Chile: Segunda edición ampliada.

Dónde:

- K : Pendiente de talud
- n : Coeficiente de rugosidad de manning
- h_{inicio} : Altura de agua en cada tramo

i	: Pendiente longitudinal
dX	: Distancia Total del tramo
dY	: Altura máxima del tramo
dL	: Longitud total del tramo
x	: Distancia de cada tramo
h	: Altura de cada tramo
A	: Área hidráulica
R	: Radio hidráulico
V	: Velocidad
J	: Pendiente de la pérdida de carga entre dos secciones transversales
B'	: Ancho máximo estimado
F	: Número de Froude
Hmin	: Altura estimada mínima

4.3.6. DISEÑO DE OBRAS DE DESVIACIÓN NECESARIAS

Dada la magnitud de los caudales que se presentan en la zona de emplazamiento del muro, el sistema de desviación para el período de la construcción quedará definido, en lo que a su dimensionamiento se refiere, por razones de índole constructivo y práctico.

De acuerdo con lo anterior, no se estima necesario contemplar como obra de desviación un túnel, siendo recomendable el considerar un ducto de hormigón, fundado en roca y por el estribo derecho, ya que por el izquierdo se plantea el sistema de evacuación de crecidas. Ver figura 29.

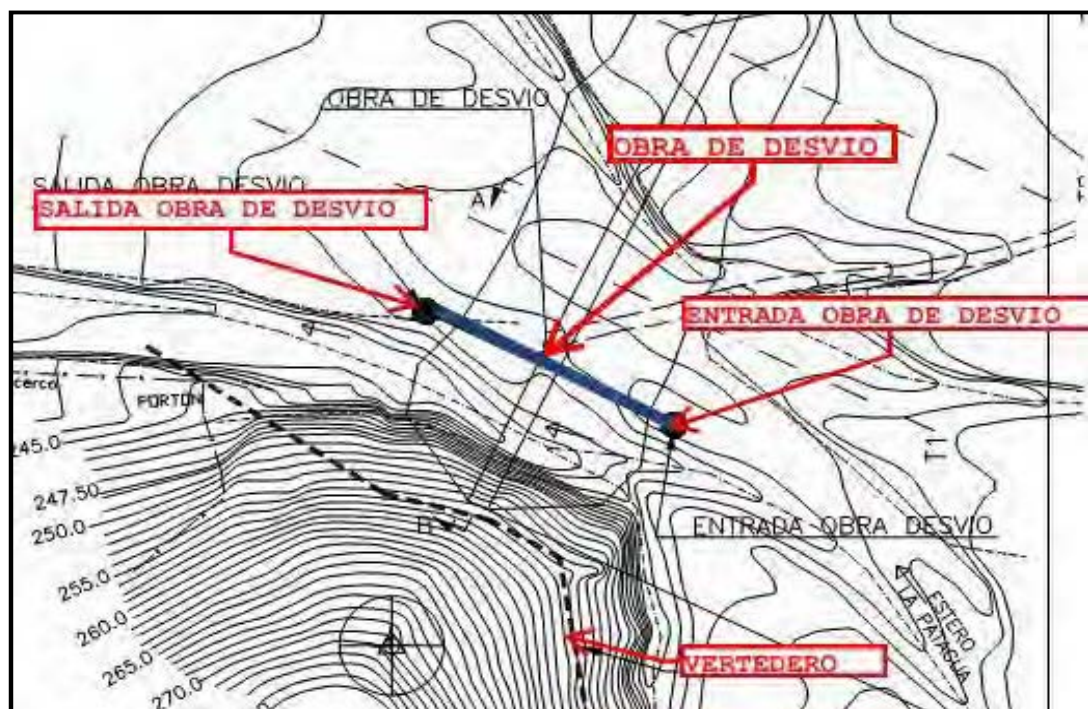



Figura 29: Disposición de Obra de Desviación. [Fuente: Elaboración propia]

Dicho ducto, de hormigón, debe tener una sección del orden de los 4 m^2 , sección suficiente para operar como obra de desviación, ya que posteriormente se debe colocar un tapón con una cañería blindada y la respectiva válvula de guardia para desde ahí, desde el tapón, se desarrolle una conducción de acero hasta el exterior, donde se implementaría el sistema de disipación de energía, para luego entregar a la conducción de riego.

La obra de desvío ha sido calculada para desviar un caudal máximo instantáneo con período de retorno de 10 años ($Q = 53 \text{ m}^3/\text{s}$); la pendiente del cajón de hormigón es de 0,044, $L = 43 \text{ m}$.

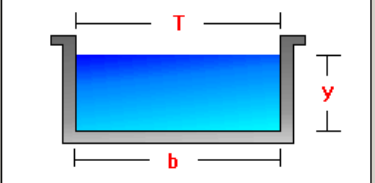
Lugar:	LA PATAGUA	Proyecto:	
Tramo:		Revestimiento:	



Calculadora

Datos:

Caudal (Q):	53	m ³ /s
Ancho de solera (b):	2.5	m
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.016	
Pendiente (S):	0.044	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	1.9411	m	Perímetro (p):	6.3822	m
Area hidráulica (A):	4.8528	m ²	Radio hidráulico (R):	0.7604	m
Espejo de agua (T):	2.5000	m	Velocidad (v):	10.9216	m/s
Número de Froude (F):	2.5028		Energía específica (E):	8.0207	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Figura 30: Cajón de hormigón de desvío Rio La Patagua. [Fuente: Villón, M (2003). HCanales (2.1). [Programa de computador]. **Costa Rica**. Editorial Tecnológica del Instituto Tecnológico]

De acuerdo a varias iteraciones realizadas en el programa Hcanales, se calcula la altura de la obra de desvío, así, la obra tendrá una sección de 2,5 m de ancho por 2 m de alto, paredes de 0,3 m de espesor. Cabe señalar que la obra de desvío se reutilizará en la obra de entrega.

Fuente: Villón, M (2003). HCanales (2.1). [Programa de computador]. **Costa Rica**. Editorial Tecnológica del Instituto Tecnológico.

De acuerdo a los resultado obtenidos, podemos diseñar nuestra obra de desviación, considerando un ancho de $b=2,5$ m altura de $y=1,94$ m, como dimensiones mínimas para evacuar un caudal de diseño de $53 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{10}).

Se presenta a continuación el diseño de la obra de desviación necesaria para la construcción del muro. Cabe señalar que una vez construido el muro y terminadas todas las obras, las obras de desviación formaran parte de las obras

de entrega de suministro de agua regulado a los agricultores del sector en estudio.

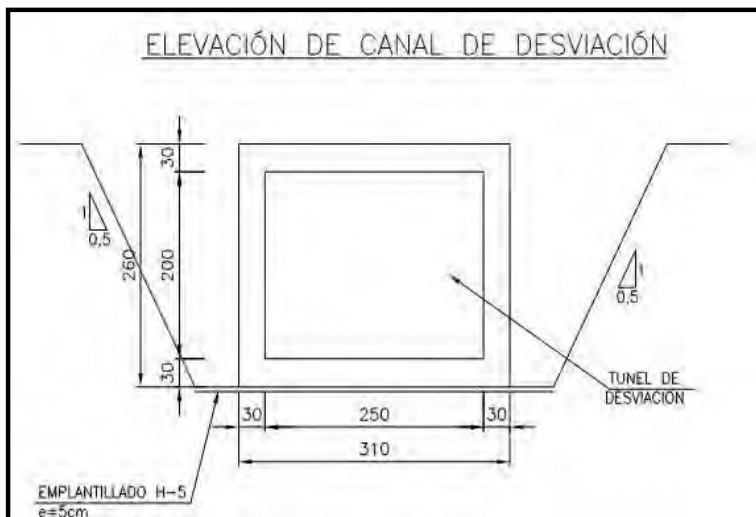


Figura 31: Diseño de obra de desviación. [Fuente: Elaboración Propia]

Es preciso señalar que soluciones de este tipo, fundadas en roca para evitar los asentamientos que dañen la estructura, ya han sido probadas con éxito y no atenta contra la seguridad de la obra de regulación, especialmente como en este caso, donde el tapón se ubicará prácticamente al inicio de la obra de desviación; la longitud total de esta obra es de 43 m.

4.3.7. DISEÑO DE LA OBRA DE ENTREGA

Una vez que se haya construido el muro y se modifique el ducto de desviación para que comience a funcionar como obra de entrega, se deberá poner en funcionamiento la estructura de toma para riego.

Los “dispositivos de control” que se instalan en los embalses pequeños son generalmente válvulas de regulación y de cierre. Las compuertas pueden ser de acero protegido o de hierro fundido. Las válvulas de mariposa y válvulas de

compuertas son adecuadas cuando el punto de control está ubicado en el extremo de aguas abajo de la tubería a presión y si la tubería está diseñada para operar con descarga libre. La válvula de regulación permite descargar gastos especificados de agua desde el embalse. Si la válvula de regulación está ubicada a la salida de la tubería a presión, es conveniente colocar antes de ella una válvula de cierre o abertura total, que se usa solamente en el caso de falla de la válvula de regulación. Las válvulas se instalan en una cámara de válvulas a la salida de la tubería de conducción y antes de la estructura terminal.

Las válvulas se instalan en una cámara de válvulas a la salida de la tubería de conducción y antes de la estructura terminal.

La “estructura terminal y disipadora” consiste en una cámara de salida, en la cual descarga la tubería de conducción. El chorro de agua se disipa en un pozo vertical amortiguador de la cámara, en la cual se forma un colchón de agua. La salida de la cámara consiste en una sección de canal rectangular, con aletas y guardaradier, que empalma con el canal derivado del embalse. Si es necesario se coloca un pedraplén, de tres metros de longitud, a la salida de la cámara, para evitar la socavación del fondo del canal.

En el caso específico de estudio, se dejará planteada la obra de toma y descarga para riego de modo que los beneficiarios del proyecto decidan si las aguas se entregarán a un canal que debe ser diseñado y construido por los beneficiarios, o bien las aguas se entregarán directamente en la quebrada para ser tomadas más hacia aguas abajo.

La obra de descarga tendrá las siguientes características geométricas generales.

- Tubería de Acero $D_n = 12''$ (interno 313,9 mm) $L = 43$ m
- Cota inicio tubería 245,50 msnm
- Cota salida tubería 243,61 msnm

Los caudales factibles de descargar para riego (con válvula abierta) son:

➤ **Caudal Máximo: con aguas máximas= 252,00 msnm**

El caudal máximo se calcula igualando energía entre el embalse y la salida:

Energía en embalse: 252,00 m

Energía a la salida: 243,61 + pérdidas + altura de velocidad

Igualando energías, se tiene:

Tabla 22: Cuadro de Resultados de Caudal Máximo

Descripción	Valor
Caudal (m ³ /s)	0,51
Coeficiente C	120
Di (mm)	313,9
J (m)	0,122058
V (m/s)	6,59
Longitud (m)	43
Pf (m)	5,25
Pérdidas Igualando energía	5,2
Pérdidas Friccionales	5,2

Fuente: Elaboración Propia (2014).

Es decir, el caudal máximo factible de evacuar serán 510 l/s

Dónde:

Coeficiente C: Coeficiente de rugosidad (adimensional), Hazen - Williams, que depende del material de la tubería.

Di : Diámetro interior tubería de 12".

J : Perdida de energía (m).

V : Velocidad (m/s).

Pf : pérdidas friccionales (m).


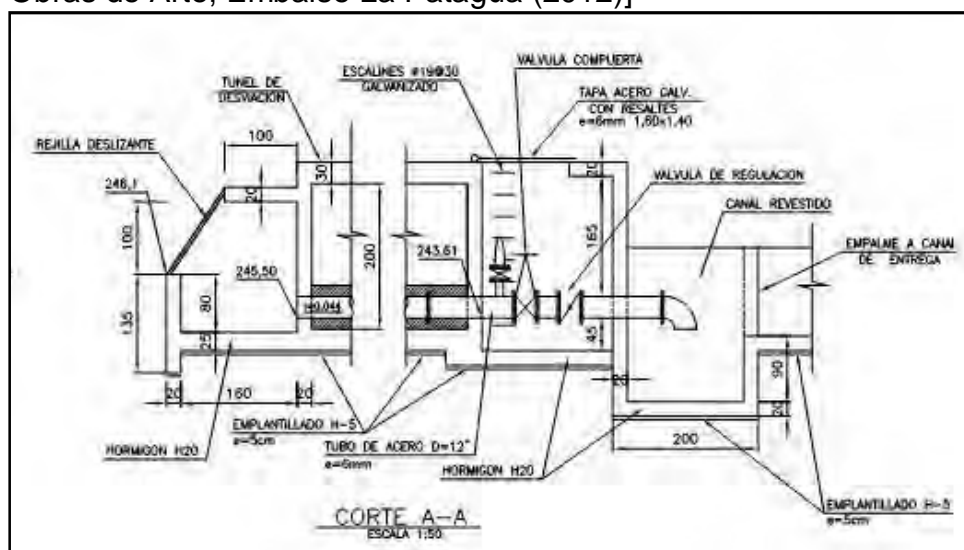
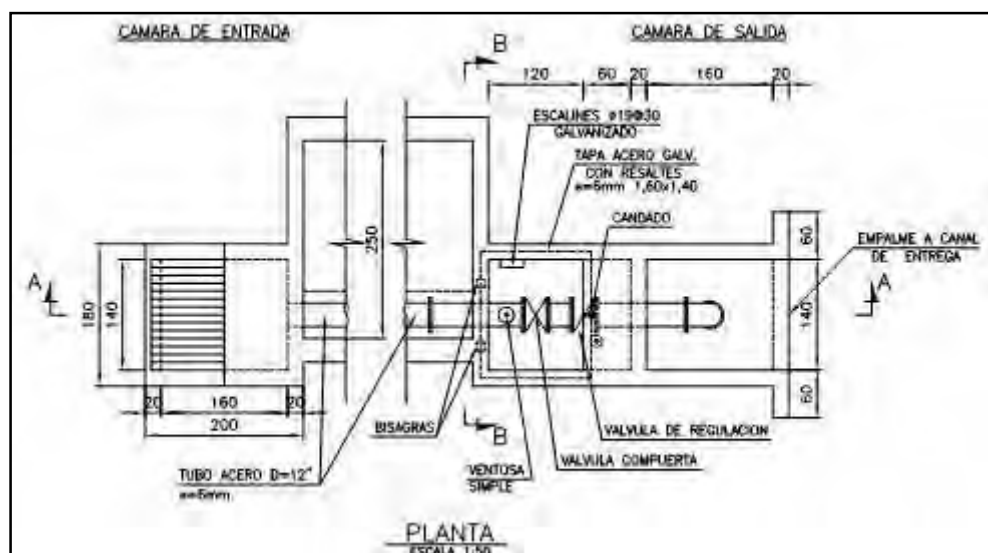
Datos:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.35"/>	m ³ /s	
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.3139"/>	m	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.009"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.044"/>	m/m	
Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.2784"/>	m	Perímetro mojado (p): <input type="text" value="0.7709"/> m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0726"/>	m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.0941"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1988"/>	m	Velocidad (v): <input type="text" value="4.8230"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="2.5486"/>		Energía específica (E): <input type="text" value="1.4640"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

Figura 32: Comprobación de dimensiones de tubería en obra de entrega. [Fuente: Villón, M (2003). HCanales (2.1). [Programa de computador]. **Costa Rica**. Editorial Tecnológica del Instituto Tecnológico.

Después de varias iteraciones con el programa Hcanales, se llega a la conclusión que el caudal de operación en acueducto de obra de entrega, será de 350 l/s, considerando los diámetros y dimensiones resultantes, este resultado está dado por la igualdad de las energías específicas de entrada y de salida de la tubería del acueducto. A continuación se detallan las obras de entrega, con sus partes principales.



En las figuras expuestas anteriormente, se observan los principales componentes de la obra de entrega: estructura de toma que corresponde a una rejilla deslizable, tubería de conducción, cámara de válvulas (dispositivos de control) con sus válvulas para la adecuada operación y la estructura terminar y disipadora, la cual empalma al estero La Patagua.

4.3.8. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EMBALSE

La siguiente tabla, nos entrega el detalle del muro y del embalse diseñado para el sitio en estudio:

Tabla 23: Características de Embalse El Carmen – La Higuera

Descripción	Valor	Unidad
Altura de muro	9,0	m
Ancho de coronación	4,8	m
Longitud de muro	378	m
Talud aguas arriba	1:2,5	(V:H)
Talud aguas abajo	1:2,0	(V:H)
Ancho del vertedero	8	m
Largo del vertedero	103	m
Área de inundación	6	ha
Volumen total a embalsar	322.763	m3
Volumen útil	293.421	m3
Volumen muerto	29.342	m3

Fuente: Elaboración Propia.

5. RESULTADOS

5.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El embalse seleccionado, corresponde a un proyecto que debe tener asociada una evaluación económica que permita determinar la rentabilidad de invertir en la ejecución de los proyectos. La inversión inicial está asociada a las obras civiles del embalse y obras anexas. Los beneficios netos anuales que pueden cuantificarse están asociados directamente a los beneficios agrícolas que implica tener obras de regulación superficial.

5.1.1. SUPUESTOS BÁSICOS

- Tasa de Interés: 6 % (fuente: Precios Sociales Vigentes 2015, Ministerio de desarrollo social)
- Período de evaluación: 30 años, el horizonte de evaluación corresponde a los años de vida útil del proyecto. En la mayoría de obras de aprovechamiento de agua es común utilizar un valor de 25 o 30 años.)
- Duración de la Construcción de las Obras Civiles: 1 año (año 0), todos los flujos se consideran al final de cada periodo.
- Inicio del Desarrollo Agrícola: al segundo año (1 año en construcción de las obras civiles)

Fuente: Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego, (2010), Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico, [s.a.].

5.2. ALTERNATIVA N°1: SUMINISTRO Y MONTAJE DE GEOMEMBRANA DE HDPE

Dada la naturaleza grava arenosa de la matriz de los suelos involucrados, se considera necesario utilizar una geomembrana en toda la superficie del muro para asegurar la impermeabilidad de ésta.

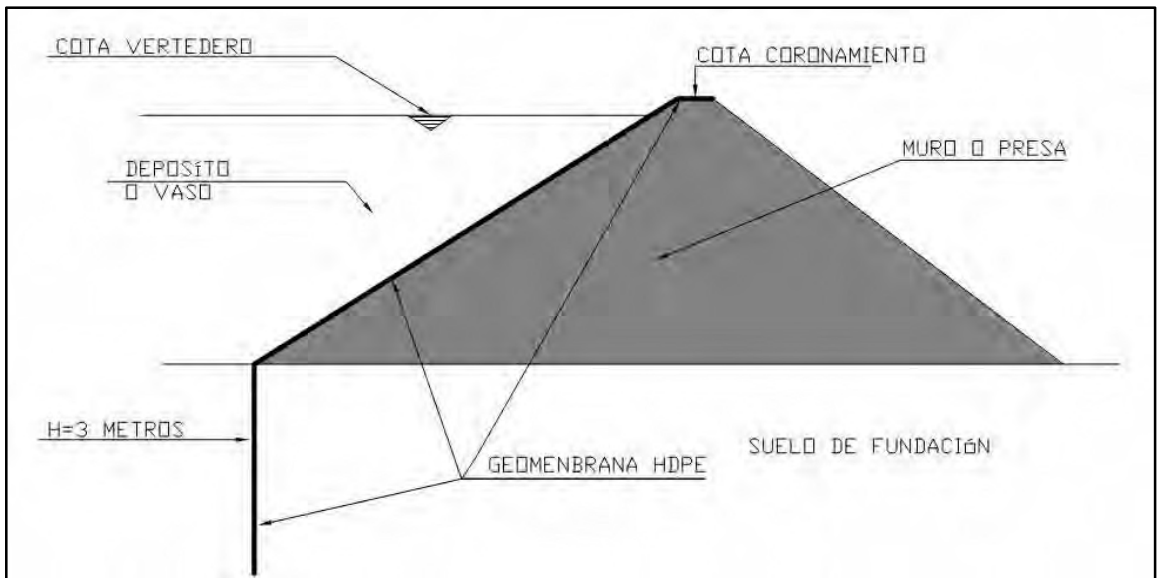


Figura 35: Disposición típica del muro. [Fuente: Elaboración propia]

En la figura 35, se describe la disposición del muro del embalse de regulación interanual, el cual contará con una lámina de HDPE de 1,5 mm de espesor, en toda su superficie aguas arriba. Cabe destacar que de acuerdo al estudio de permeabilidad se debe impermeabilizar bajo el sello de fundación del muro, para evitar filtraciones bajo el muro, a una profundidad de 3 metros.

A continuación se detallan las cubicaciones del muro y de las obras más relevantes en esta etapa de estudio.

Tabla 24: Detalle de Cubicaciones de alternativa n°1

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Excavación	m3	3.297
Rellenos Muro	m3	34.596
Geomebrana HDPE e=1,5 mm	m2	8.100
Hormigón H30	m3	160
Acero Armadura	kg	11.183
Tubería de Acero D= 12"	ml	48
Válvula de Compuerta D= 300 mm	unid	1
Válvula de Regulación D= 300 mm	unid	1
Válvula Ventosa 75 mm	unid	1

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1. PRECIOS UNITARIOS

Se contempla a continuación, el costo de las obras de regulación superficial que se han propuesto para mejorar la seguridad de riego en el valle. Para tal efecto, se han cubicado los ítems más importantes de las obras civiles asociadas. En virtud de lo anterior, se valorizarán las obras del embalse proyectado, utilizando los siguientes valores de hora/hombre y precios unitarios.

Para cuantificar el valor de hora/hombre se presenta la siguiente tabla, la cual se detalla el procedimiento del cálculo.

Tabla 25: Cálculo del valor de HH

	Cantidad	Sueldo Líquido (UF)	Bono (UF)	Traslado (UF)	Alojamiento + Alimentación (UF)	Costo Total mensual (UF)	Valor HH (UF)
Capataz	1	40,606	8,121	2,842	10,151	61,721	0,343
M1	1	26,394	4,061	2,842	10,151	43,448	0,241
M2	1	20,303	3,248	2,842	10,151	36,545	0,203
Ayudante	1	16,242	2,436	2,842	10,151	31,672	0,176

Fuente: Elaboración propia.

**Supuestos:**

Se considera para el cálculo de Hora – Hombre (HH), que todo el personal que trabajará en la construcción del embalse, no reside en la comuna beneficiada con el proyecto, por lo que se considera traslado desde lugar de su residencia hasta el lugar de trabajo, alimentación y alojamiento para cada trabajador.

También se consideró un valor promedio de traslado ida y vuelta, considerado desde Santiago hacia la comunidad beneficiada por el proyecto y para el valor del alojamiento se consideró un valor estimativo del alojamiento en la zona y un valor promedio de la alimentación de cada trabajador, considerando tres comidas diarias.

Una vez sumado los valores de: sueldo líquido, bonificación, traslado, alimentación y alojamiento, se obtiene el costo total mensual de cada trabajador, este valor es dividido por 180 [horas laborales mensuales], que corresponde al total de horas trabajadas en el mes por cada trabajador, de acuerdo con lo anterior se obtiene un valor de Hora – Hombre para este proyecto en particular.

ANÁLISIS DE PRECIOS DE LOS ÍTEMS DE PAGO

En las siguientes tablas se realiza el cálculo del precio unitario de cada partida para esta etapa del proyecto. Se presentan los rendimientos de personal y maquinarias asociados a los precios unitarios de cada partida, además de las cantidades de suministros asociados a cada partida. Estos precios unitarios fueron calculados de acuerdo a los precios establecidos por el mercado actual.

Tabla 26: APU Excavación (m3)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,042
a	Capataz	HH	0,027	0,343	0,009
b	Maestro 1ra	HH	0,036	0,241	0,009
c	Maestro 2a	HH	0,036	0,203	0,007
d	Ayudante	HH	0,036	0,176	0,006
e	Leyes Sociales	%	33,000		0,010
2.	Materiales				0,058
a	Herramientas menores	gl	1,000	0,028	0,028
b	Fungibles	gl	1,000	0,030	0,030
3.	Equipos				0,103
a	Excavadora	HM	0,040	0,812	0,032
b	Camión Tolva	HM	0,040	0,792	0,032
c	Combustible y Lubricantes	lt	1,200	0,032	0,039
Total Costo Directo					0,203

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: APU Rellenos (m3)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,041
a	Capataz	HH	0,027	0,343	0,009
b	Maestro 1ra	HH	0,036	0,241	0,009
c	Maestro 2a	HH	0,033	0,203	0,007
d	Ayudante	HH	0,036	0,176	0,006
e	Leyes Sociales	%	33,000		0,010
2.	Materiales				0,115
a	Suministro de relleno	m3	1,000	0,102	0,102
b	Fungibles	gl	1,000	0,013	0,013
3.	Equipos				0,126
a	Rodillo compactador 10 ton	HM	0,022	1,299	0,029
b	Camión Tolva	HM	0,027	0,792	0,021
c	Retroexcavadora	HM	0,017	0,812	0,014
d	Camión Aljibe	HM	0,100	0,207	0,021
e	Combustible y Lubricantes	lt	1,200	0,035	0,041
Total Costo Directo					0,282

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Suministro y Colocación de Lámina de HDPE (m2)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,013
a	Capataz	HH	0,010	0,343	0,003
b	Maestro 1ra	HH	0,010	0,241	0,002
c	Maestro 2a	HH	0,010	0,203	0,002
d	Ayudante	HH	0,010	0,176	0,002
e	Leyes Sociales	%	33,000		0,003
2.	Materiales				0,174
a	Soldadura	kg	0,200	0,158	0,032
b	Lámina de HDPE e=1,5mm	m2	1,000	0,143	0,143
3.	Equipos				0,026
a	Herramientas menores	gl	1,000	0,018	0,018
b	Fungibles	gl	1,000	0,008	0,008
Total Costo Directo					0,213

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: APU Hormigón Estructural H25 (m³)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,534
a	Capataz	HH	0,417	0,343	0,143
b	Maestro 1ra	HH	0,417	0,241	0,101
c	Maestro 2a	HH	0,417	0,203	0,085
d	Ayudante	HH	0,417	0,176	0,073
e	Leyes Sociales	%	33,000		0,132
2.	Materiales				3,025
a	Hormigón H25	m3	1,050	2,721	2,857
b	Puente de Adherencia	lt	0,040	0,118	0,005
c	Desmoldante	lt	0,500	0,077	0,039
d	Membrana de Curado	lt	0,090	0,073	0,007
e	Herramientas menores	gl	1,000	0,041	0,041
f	Fungibles	gl	1,000	0,077	0,077
3.	Equipos				0,114
a	Vibrador de inmersión	HM	0,400	0,284	0,114
Subtotal Costo Directo					3,672

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 30: APU Armaduras de refuerzo (Kg)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,005
a	Capataz	HH	0,003	0,343	0,001
b	Maestro 1ra	HH	0,005	0,241	0,001
c	Maestro 2a	HH	0,005	0,203	0,001
d	Ayudante	HH	0,005	0,176	0,001
e	Leyes Sociales	%	33,000		0,001
2.	Materiales				0,030
a	Herramientas menores	gl	1,000	0,004	0,004
b	Armadura de Refuerzo	kg	1,000	0,026	0,026
3.	Equipos				0,002
a	Camión Traslado	HM	0,003	0,609	0,002
b	Combustible y Lubricantes	lt	0,010	0,035	0,000
Subtotal Costo Directo					0,038

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 31: APU Suministro y Montaje de Válvula de Compuerta D=300 mm (c/u)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				5,125
a	Capataz	HH	4,000	0,343	1,372
b	Maestro 1ra	HH	4,000	0,241	0,966
c	Maestro 2a	HH	4,000	0,203	0,812
d	Ayudante	HH	4,000	0,176	0,704
	Leyes Sociales	%	33,000		1,271
2.	Materiales				9,538
a	Válvula on-off	gl	1,000	9,538	9,538
3.	Equipos				1,500
a	Herramientas menores	gl	1,000	0,609	0,609
b	Fungible	gl	1,000	0,891	0,891
Subtotal Costo Directo					16,162

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: APU Suministro y Montaje de Válvula de regulación D=300 mm (c/u)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				8,881
a	Capataz	HH	5,000	0,343	1,714
b	Maestro 1ra	HH	8,000	0,241	1,931
c	Maestro 2a	HH	8,000	0,203	1,624
d	Ayudante	HH	8,000	0,176	1,408
e	Leyes Sociales	%	33,000		2,204
2.	Materiales				17,927
a	Válvula on-off	gl	1,000	17,927	17,927
3.	Equipos				1,350
a	Herramientas menores	gl	1,000	0,487	0,487
b	Fungible	gl	1,000	0,862	0,862
Subtotal Costo Directo					28,158

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: APU Suministro y Montaje de Válvula de Ventosa D=300 mm (c/u)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				3,387
a	Capataz	HH	2,000	0,343	0,686
b	Maestro 1ra	HH	3,000	0,241	0,724
c	Maestro 2a	HH	3,000	0,203	0,609
d	Ayudante	HH	3,000	0,176	0,528
e	Leyes Sociales	%	33,000		0,840
2.	Materiales				6,152
a	Válvula on-off	gl	1,000	6,152	6,152
3.	Equipos				1,566
a	Herramientas menores	gl	1,000	0,690	0,690
b	Fungible	gl	1,000	0,876	0,876
Subtotal Costo Directo					11,105

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: APU Suministro Fabricación y Montaje de Cañería 12” (ml)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,236
a	Capataz	HH	0,128	0,343	0,044
b	Maestro 1ra	HH	0,215	0,241	0,052
c	Maestro 2a	HH	0,215	0,203	0,044
d	Ayudante	HH	0,215	0,176	0,038
e	Leyes Sociales	%	33,000		0,058
2.	Materiales				2,040
a	Suministro de Cañería	m	1,000	1,661	1,661
b	Pinturas	m2	1,000	0,325	0,325
c	Discos de Corte 7"	un	0,100	0,049	0,005
d	Grata 7"	un	0,100	0,227	0,023
e	Disco de corte 4 1/2"	un	0,100	0,037	0,004
f	Soldadura	kg	0,200	0,106	0,021
g	Oxigeno	m3	0,010	0,183	0,002
3.	Equipos				0,109
a	Limpieza y Pre-Primer	m2	0,020	0,284	0,006
b	Esmalte de Terminación (2manos)	m2	0,010	0,467	0,005
c	Diluyente Epóxico	lt	0,010	0,061	0,001
d	Soldadoras	un	0,177	0,199	0,035
e	Esmeril	un	0,010	0,118	0,001
f	Tecle de cadena	un	0,001	0,077	0,000
g	Herramientas Menores	gl	0,001	1,015	0,001
h	Material de Limpieza	gl	0,001	0,077	0,000
i	Fungible	gl	1,000	0,061	0,061
Subtotal Costo Directo					2,385

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Resumen de precios unitarios

ÍTEM	DESCRIPCÓN	UNIDAD	P.U.
A	Excavación	m3	0,203
B	Relleno Muro	m3	0,282
C	Geomembrana HDPE e=1,5 mm	m2	0,213
D	Hormigón H30	m3	3,672
E	Acero Armadura	kg	0,038
F	Válvula de compuerta D=300 mm	c/u	16,162
G	Válvula de regulación D=300 mm	c/u	28,158
H	Válvula ventosa 75 mm	c/u	11,105
I	Tubería Acero D=12"	ml	2,385

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla anterior se presentan los precios unitarios correspondientes a cada partida de la alternativa n°1.

5.2.2. GASTOS GENERALES Y PRESUPUESTOS DE LAS OBRAS

Tabla 36: Detalle de Gastos Generales Alternativa n°1

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	N	P. Unitario	P. Total
1	Instalación de Faena					
1,1	Oficinas					
1,1,1	Oficinas	mes	12	2	4,167	100,000
1,1,2	Bodegas	mes	12	1	3,333	40,000
1,1,3	Baños Químicos	mes	12	3	4,167	150,000
1,1,4	Cierre Perimetral	gl	1	1	8,333	8,333
1,2	Utilería Interior					
1,2,1	Escritorios + Sillas	c/u	5	1	2,083	10,417
1,2,2	Estanterías	c/u	5	1	1,458	7,292
1,2,3	Computador Personal	c/u	4	1	10,000	40,000
1,2,4	Impresora	c/u	2	2	2,083	8,333
2	Remuneraciones					
2,1	Personal Profesional de Obra					



2,1,1	Administrador de Contrato	mes	12	1	91,667	1.100,000
2,1,2	Administrativo	mes	12	1	39,583	475,000
2,1,3	Jefe de Terreno	mes	12	1	75,000	900,000
2,1,4	Exp. Prevención Riesgo	mes	12	1	41,667	500,000
2,1,5	Bodeguero	mes	12	1	41,667	500,000
3	Costo Básico Obra					
3,1	Agua Potable	mes	12	1	4,167	50,000
3,2	Teléfono	mes	12	2	1,667	40,000
3,3	Internet	mes	12	2	0,833	20,000
3,4	Combustibles	mes	12	1	4,167	50,000
4	Gastos Financieros y Seguros					
4,1	Gastos por Seguros					
4,1,1	Seguro Responsabilidad Civil	gl	1	1	14,583	14,583
4,1,2	Seguro Accidentes Personales	gl	1	1	14,583	14,583
4,2	Gastos Financieros					
4,2,1	Boleta Bancaria por " Ejecución y Calidad Obra"	%	1	1	12,500	12,500
4,2,2	Boleta Bancaria por Fiel cumplimiento de la Obra	%	1	1	10,417	10,417
5	Gastos Administrativos					
5,1	Camioneta	mes	12	2	20,833	500,000
5,2	Minibús	mes	12	1	52,083	625,000
	Total Gastos Generales					5.176,458

Fuente: Elaboración propia.

Los gastos generales del proyecto se consideran para un (1) año de construcción, el pago de remuneraciones e imposiciones del personal indirecto, instalación de faena, gastos básicos de obra, gastos financieros y gastos administrativos. No se consideró maquinarias y herramientas, ya que estos ítems fueron considerados en los costos directos de la obra. Todos los valores expresados en esta tabla fueron calculados en base a los valores de mercado.

Las cubicaciones y presupuesto se incluyen en la tabla 37, de las cuales se desprenden el valor total del presupuesto de construcción para el embalse considerando la alternativa n°1 para la impermeabilización del muro aguas arriba.

Tabla 37: CUBICACIONES Y PRESUPUESTO EMBALSE LA PATAGUA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.TOTAL
			UF	UF
Excavación	m3	3.297	0,203	669,168
Rellenos Muro	m3	34.596	0,282	9.746,522
Geomebrana HDPE e=1,5 mm	m2	8.100	0,213	1.725,278
Hormigón H30	m3	160	3,672	586,630
Acero Armadura	kg	11.183	0,038	422,193
Tubería de Acero D= 12"	ml	48	16,162	781,845
Válvula de Compuerta D= 300 mm	c/u	1	28,158	28,158
Válvula de Regulación D= 300 mm	c/u	1	11,105	11,105
Válvula Ventosa 75 mm	c/u	1	2,385	2,385
SUBTOTAL				13.973,284
Gastos Generales			37,05%	5.176,458
TOTAL				19.149,743

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3. FLUJO CAJA

En el Cuadro 38 y 39 se presentan los flujos caja e indicadores económicos de las evaluaciones del proyecto del embalse El Carmen - La Higuera, correspondiente a alternativa n°1 (Impermeabilización de muro mediante Lámina de HDPE). Se define un horizonte de 30 años de acuerdo a lo estipulado por la Comisión nacional de riego, la cual establece que para proyectos de esta envergadura, se considera este supuesto.



Cabe destacar que los beneficios del proyecto fueron considerados con el supuesto de tener la superficie totalmente cultivada, estudio agrícola realizado por el ministerio de agricultura.

Fuente: Ministerio de agricultura. (2005). *Agricultura chilena 2014: una perspectiva de mediano plazo*. Santiago, Chile: Autor.

Tabla 38: Evaluación Económica Embalse La Patagua

Año	Costo Obras Civiles		Margen Agrícola	VAN Parcial	VAN Acumulado
	Construcción	Oper. y Mant.	Situación Agrícola		
0	19.149,743		-229,764	-19.379,507	-19.379,507
1		95,749	-111,491	-195,509	-19.575,016
2		95,749	-401,472	-442,525	-20.017,541
3		95,749	-325,816	-353,954	-20.371,494
4		95,749	591,783	392,906	-19.978,589
5		95,749	634,401	402,512	-19.576,076
6		95,749	796,824	494,230	-19.081,846
7		95,749	1.362,900	842,728	-18.239,118
8		95,749	1.701,378	1.007,392	-17.231,726
9		95,749	1.882,945	1.057,839	-16.173,888
10		95,749	2.013,345	1.070,776	-15.103,112
11		95,749	2.350,042	1.187,534	-13.915,578
12		95,749	3.059,643	1.472,965	-12.442,614
13		95,749	3.181,460	1.446,702	-10.995,911
14		95,749	3.343,883	1.436,653	-9.559,259
15		95,749	3.343,883	1.355,333	-8.203,926
16		95,749	3.343,883	1.278,616	-6.925,309
17		95,749	3.343,883	1.206,242	-5.719,068
18		95,749	3.343,883	1.137,964	-4.581,104
19		95,749	3.343,883	1.073,551	-3.507,554
20		95,749	3.343,883	1.012,784	-2.494,770
21		95,749	3.215,336	917,643	-1.577,126
22		95,749	3.226,728	868,863	-708,264
23		95,749	3.071,100	778,939	70,675
24		95,749	2.999,049	717,053	787,728
25		95,749	2.827,790	636,562	1.424,290
26		95,749	2.993,978	637,060	2.061,350
27		95,749	3.124,186	628,001	2.689,350
28		95,749	3.229,052	612,969	3.302,319
29		95,749	3.064,241	547,855	3.850,174
30		95,749	3.064,241	516,845	4.367,019

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 39: Tabla Resumen Evaluación Económica.

Descripción	Valor	
COSTO NETO ACTUALIZADO	UF	20.468
BENEFICIO NETO ACTUALIZADO	UF	24.835
TIR		7,30%
VAN		4.367
RELACION BENEFICIO- COSTO		1,21
Periodo de Recuperación K		23

Fuente: Elaboración Propia.

5.3. ALTERNATIVA N°2: SUMINISTRO DE SISTEMA ROCAMIX

Dada la naturaleza grava arenosa limosa de la matriz de los suelos involucrados, se considera necesario utilizar un sistema de impermeabilización en el muro del embalse para asegurar la impermeabilidad de ésta.

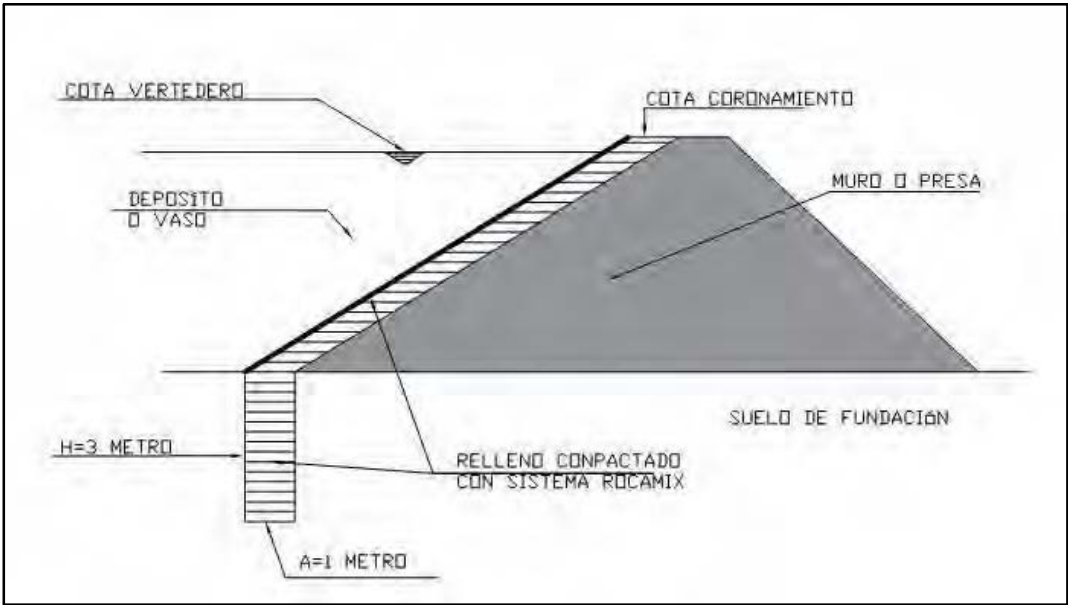


Figura 36: Disposición típica del muro [Fuente: Plano de Muro, Elaboración propia]

De acuerdo a la figura 36, se describe la disposición del muro con sus principales cotas y niveles de aguas de operación, además se aprecia la disposición del producto Rocamix, se aplicara el producto en toda la superficie de contacto con el agua embalsada, considerando 1 metro de ancho en cada capa de relleno.

5.3.1. PRECIOS UNITARIOS

Se contempla a continuación, el costo de las obras de regulación superficial que se han propuesto para mejorar la seguridad de riego en el valle. Para tal efecto, se han cubicado los ítems más importantes de las obras civiles asociadas, en esta alternativa se evaluara el sistema Rocamix, aplicado en la construcción del muro. En virtud de lo anterior, se valorizarán las obras del embalse proyectado, utilizando los siguientes precios unitarios.

En primer lugar se definen las cantidades de Rocamix y de cemento necesarios para la aplicación del sistema de impermeabilización, de acuerdo a los siguientes datos:

- Clasificación de suelo según AASHTO: A-3, (IG=0,50), Arena gruesa: material comprendido entre 2 mm y 0.5 mm.
- Clasificación Rocamix: R2 (0,40 litros de Rocamix por m³ de la misma tierra del lugar.
- Dosis de aditivo (cemento): 10/15 kg de cemento por m³ de la misma tierra del lugar de estudio.

A continuación se detallan las cubicaciones del muro y de las obras más relevantes en esta etapa de estudio.



Tabla 40: Detalle de cubicación alternativa n°2

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Excavación	m3	3.297
Rellenos Muro	m3	34.596
Sistema Rocamix	lt	1.332
Cemento	kg	49.950
Hormigón H30	m3	160
Acero Armadura	kg	11.183
Tubería de Acero D= 12"	ml	48
Válvula de Compuerta D= 300 mm	c/u	1
Válvula de Regulación D= 300 mm	c/u	1
Válvula Ventosa 75 mm	c/u	1

Fuente: Elaboración Propia.

ANÁLISIS DE PRECIOS DE LOS ÍTEMS DE PAGO

En las siguientes tablas realiza el cálculo del precio unitario de cada partida para esta etapa del proyecto. Se presentan los rendimientos de personal y maquinarias asociados a los precios unitarios de cada partida, además de las cantidades de suministros asociados a cada partida. Estos precios unitarios fueron calculados de acuerdo a los precios establecidos por el mercado actual.

Tabla 41: APU Sistema Rocamix (lt)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,000
a	Capataz	HH	-	0,343	0,000
b	Maestro 1ra	HH	-	0,241	0,000
c	Maestro 2a	HH	-	0,203	0,000
d	Ayudante	HH	-	0,176	0,000
	Leyes Sociales	%	33,0		0,000
2.	Materiales				0,651
a	Sistema Rocamix	lt	1	0,643	0,643
b	Fungibles	gl	1	0,008	0,008
3.	Equipos				0,020
a	Impuestos en aduana (CIF)	Lt	1,0	0,020	0,020
b	Flete	lt	1,0	0,00003	0,00003
Total Costo Directo					0,671

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: Cemento (kg)

Ítem	Descripción Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo Total (UF)
1.	Mano de Obra				0,001
a	Capataz	HH	-	0,343	0,000
b	Maestro 1ra	HH	-	0,241	0,000
c	Maestro 2a	HH	0,004	0,203	0,0008
d	Ayudante	HH	0,0005	0,176	0,0001
e	Leyes Sociales	%	33,0		0,000
2.	Materiales				0,003
a	Cemento	kg	1	0,003	0,003
3.	Equipos				0,002
a	Herramientas Menores	gl	1,0	0,002	0,002
a	Traslado de Materiales	kg	1,0	0,001	0,001
Total Costo Directo					0,006

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presentan los precios unitarios correspondientes a cada partida de la alternativa n°2 del sistema de impermeabilización. Cabe destacar que para las actividades que se repiten de la alternativa 1, se utilizan los mismos precios unitarios.

Tabla 43: RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P.U. (UF)
A	Excavación	m3	0,203
B	Relleno Muro	m3	0,282
C	Sistema Rocamix	lt	0,671
D	Cemento del tipo Estándar	kg	0,006
E	Hormigón H30	m3	3,672
F	Acero Armadura	kg	0,038
G	Válvula de compuerta D=300 mm	c/u	16,162
H	Válvula de regulación D=300 mm	c/u	28,158
I	Válvula ventosa 75 mm	c/u	11,105
J	Tubería Acero D=12"	ml	2,385

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. GASTOS GENERALES Y PRESUPUESTOS DE LAS OBRAS

Los gastos generales y presupuesto se incluyen en las siguientes tablas:

Tabla 44: Gastos Generales alternativa n°2

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	N	P. Unitario	P. Total
1	Instalación de Faena					
1,1	Oficinas					
1,1,1	Oficinas	mes	12	2	4,167	100,000
1,1,2	Bodegas	mes	12	1	3,333	40,000
1,1,3	Baños Químicos	mes	12	3	4,167	150,000
1,1,4	Cierre Perimetral	gl	1	1	8,333	8,333
1,2	Utilería Interior					
1,2,1	Escritorios + Sillas	c/u	5	1	2,083	10,417
1,2,2	Estanterías	c/u	5	1	1,458	7,292
1,2,3	Computador Personal	c/u	4	1	10,000	40,000
1,2,4	Impresora	c/u	2	2	2,083	8,333
2	Remuneraciones					
2,1	Personal Profesional de Obra					
2,1,1	Administrador de Contrato	mes	12	1	91,667	1.100,000
2,1,2	Administrativo	mes	12	1	39,583	475,000
2,1,3	Jefe de Terreno	mes	12	1	75,000	900,000
2,1,4	Exp. Prevención Riesgo	mes	12	1	41,667	500,000
2,1,5	Bodeguero	mes	12	1	41,667	500,000
3	Costo Básico Obra					
3,1	Agua Potable	mes	12	1	4,167	50,000
3,2	Teléfono	mes	12	2	1,667	40,000
3,3	Internet	mes	12	2	0,833	20,000
3,4	Combustibles	mes	12	1	4,167	50,000
4	Gastos Financieros y Seguros					
4,1	Gastos por Seguros					
4,1,1	Seguro Responsabilidad Civil	gl	1	1	14,583	14,583
4,1,2	Seguro Accidentes Personales	gl	1	1	14,583	14,583



4,2	Gastos Financieros					
4,2,1	Boleta Bancaria por " Ejecución y Calidad Obra"	%	1	1	12,500	12,500
4,2,2	Boleta Bancaria por Fiel cumplimiento de la Obra	%	1	1	10,417	10,417
5	Gastos Administrativos					
5,1	Camioneta	mes	12	2	20,833	500,000
5,2	Minibús	mes	12	1	52,083	625,000
	Total Gastos Generales					5.176,458

Fuente: Elaboración propia.

Los gastos generales del proyecto se consideran para un (1) año de construcción, el pago de remuneraciones e imposiciones del personal indirecto, instalación de faena, gastos básicos de obra, gastos financieros y gastos administrativos. No se consideró maquinarias y herramientas, ya que estos ítems fueron considerados en los costos directos de la obra. Todos los valores expresados en esta tabla fueron calculados en base a los valores de mercado.

Tabla 45: CUBICACIONES Y PRESUPUESTO EMBALSE LA PATAGUA

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.TOTAL
			UF	UF
Excavación	m3	3.297	0,203	669,168
Rellenos Muro	m3	34.596	0,282	9.746,522
Sistema Rocamix	lt	1.332	0,671	893,591
Cemento	kg	49.950	0,006	254,785
Hormigón H30	m3	160	3,672	586,630
Acero Armadura	kg	11.183	0,038	422,193
Tubería de Acero D= 12"	ml	48	16,162	781,845
Válvula de Compuerta D= 300 mm	unid	1	28,158	28,158
Válvula de Regulación D= 300 mm	unid	1	11,105	11,105
Válvula Ventosa 75 mm	unid	1	2,385	2,385
SUBTOTAL				13.396,383
Gastos Generales			38,64%	5.176,458
TOTAL				18.572,841

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.3. FLUJO CAJA

En el Cuadro 46 y 47 se presentan los flujos e indicadores económicos de las evaluaciones del proyecto del embalse El Carmen La Higuera, respectivamente. Se define un horizonte de 30 años de acuerdo a lo estipulado por la Comisión nacional de riego, la cual establece que para proyectos de esta envergadura, se considera este supuesto.

Cabe destacar que los beneficios del proyecto fueron considerados con el supuesto de tener la superficie totalmente cultivada, estudio agrícola realizado por el ministerio de agricultura.

Fuente: Ministerio de agricultura. (2005). *Agricultura chilena 2014: una perspectiva de mediano plazo*. Santiago, Chile: Autor.

Tabla 46: Evaluación Económica Embalse La Patagua

Año	Costo Obras Civiles		Margen Agrícola		
	Construcción	Operación y Mantenición	Situación Agrícola	VAN Parcial	VAN Acumulado
0	18.572,841		-229,764	-18.802,606	-18.802,606
1		92,864	-111,491	-192,788	-18.995,393
2		92,864	-401,472	-439,958	-19.435,351
3		92,864	-325,816	-351,532	-19.786,883
4		92,864	591,783	395,190	-19.391,692
5		92,864	634,401	404,668	-18.987,025
6		92,864	796,824	496,264	-18.490,761
7		92,864	1.362,900	844,647	-17.646,114
8		92,864	1.701,378	1.009,202	-16.636,913
9		92,864	1.882,945	1.059,546	-15.577,367
10		92,864	2.013,345	1.072,386	-14.504,981
11		92,864	2.350,042	1.189,053	-13.315,927
12		92,864	3.059,643	1.474,398	-11.841,529
13		92,864	3.181,460	1.448,054	-10.393,475
14		92,864	3.343,883	1.437,929	-8.955,546
15		92,864	3.343,883	1.356,537	-7.599,009
16		92,864	3.343,883	1.279,751	-6.319,258
17		92,864	3.343,883	1.207,313	-5.111,945
18		92,864	3.343,883	1.138,974	-3.972,971
19		92,864	3.343,883	1.074,504	-2.898,467
20		92,864	3.343,883	1.013,683	-1.884,784
21		92,864	3.215,336	918,492	-966,292
22		92,864	3.226,728	869,663	-96,628
23		92,864	3.071,100	779,694	683,066
24		92,864	2.999,049	717,765	1.400,831
25		92,864	2.827,790	637,234	2.038,065
26		92,864	2.993,978	637,694	2.675,759
27		92,864	3.124,186	628,599	3.304,358
28		92,864	3.229,052	613,533	3.917,890
29		92,864	3.064,241	548,388	4.466,278
30		92,864	3.064,241	517,347	4.983,625

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 47: Tabla Resumen Evaluación Económica.

Descripción	Valor	
COSTO NETO ACTUALIZADO	UF	19.851
BENEFICIO NETO ACTUALIZADO	UF	24.835
TIR		7,51%
VAN		4.984
RELACION BENEFICIO- COSTO		1,25
Periodo de Recuperación K		23

Fuente: Elaboración Propia.

5.4. ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los indicadores económicos resultantes de la evaluación económica de las alternativas de impermeabilización del muro, se puede deducir que el proyecto presenta un VAN positivo en ambas alternativas y que por lo tanto, en términos puramente económicos, resulta rentable llevar a cabo la construcción del embalse La Patagua.

Considerando que la relación beneficio – costo es mayor que 1 en ambas alternativas, esto significa que los ingresos netos generados por la construcción del embalse, son superiores a los egresos netos. En otras palabras, los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) y, en consecuencia, el proyecto generará riqueza a la comunidad de La Higuera- El Carmen, y por ende traerá consigo un beneficio en el área de estudio.

Resultando ambas alternativas rentables, lo que se sugiere y recomienda para la definición del sistema de impermeabilización, construcción y operación del embalse, es que debemos considerar los resultados económicos para la definición. En este caso podemos decir, que de acuerdo a los resultados entregados por los análisis económicos, la alternativa de Rocamix es más rentable, posee un VAN positivo mayor al de la alternativa uno (Lámina de



HDPE), una TIR que supera la tasa interna de retorno considerada para el proyecto.

Comparando ambas alternativas, la aplicación de la lámina de HDPE, resulta una opción poco atractiva en términos económicos, ya que, al analizar los resultados del flujo de caja, se puede apreciar que sus costos son más altos que los generados por la alternativa dos (Rocamix), a pesar que da como resultado un VAN positivo, la rentabilidad se encuentra por debajo de la rentabilidad de Rocamix, y en consecuencia, esta alternativa debe descartarse y no es conveniente tomarla en consideración.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

El embalse de regulación interanual se construirá en el área de El Carmen y La Higuera que están ubicadas en la Comuna de La Ligua, Provincia de Petorca, V Región. La comunidades interesadas en el estudio son los Parceleros de El Carmen y La Higuera, que está constituida por parcelas de tamaño medio, lo que da en promedio una superficie media de las propiedades, de 4,8 hectáreas, la que se caracteriza por el predominio de frutales como chirimoyo, limonero y palto, en menor proporción, chacras y hortalizas como papa y poroto granado, las cuales requieren de una superficie productiva total de 86 ha.

El caudal disponible del estero La Patagua, corresponde a 157,9 [l/s], en promedio de acuerdo a los años que se tomaron mediciones (1979 – 2011). Esto condiciona la productividad agrícola de la zona, ya que no se dispone de una mayor cantidad de agua, y entre las principales restricciones al desarrollo se encuentra el agua, el costo de elevación del agua subterránea, los bajos precios de los productos y el financiamiento. Con la construcción del embalse se da solución a una problemática existente en los años anteriores, por la inexistencia de una obra de esta envergadura.

Proyectando las superficies de cultivo y potenciales de riego, para fines de determinación de las demandas futuras unitarias, la dimensión del embalse y el uso futuro para el total del área, la productividad de la zona aumentará considerablemente, ya que nuestra área de producción alcanzara las 1077 hectáreas.

Cada vez que se quiera realizar un diseño de ingeniería de un embalse pequeño o tranques se debe tener presente muchos aspectos, como por ejemplo: selección de sitios y estudios de factibilidad, investigaciones geotécnicas y de terreno, hidrografía y diseño de detalle. A pesar de que el alcance de un diseño de ingeniería es específico al sitio, incluye un conjunto de conocimientos especializados y técnicos.

Si bien es cierto, las obras de construcción en general y ésta en particular consideran fundamental en estos tiempos factores como la optimización de recursos y diseño de las obras, hay un tópico que va inmerso en estos temas: El Costo. En relación a esto, las actividades de ingeniería básica deberán apuntar también en ese sentido, de modo de evitar gastos por sobre-dimensionamientos innecesarios en la diseño de las obras, producción, transporte y colocación de materiales, etc. Por lo tanto, es de suma importancia la implementación de metodologías y procedimientos para cada etapa del diseño, acompañados de una amplia difusión a todos los actores de la obra.

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos podemos concluir que la naturaleza gravosa de los suelos involucrados (Arena Gravosa Limosa, mal graduada con poco fino), se considera necesario utilizar algún método de impermeabilización del muro aguas arriba en toda la superficie del muro para asegurar la impermeabilidad de ésta, para no tener problemas de filtración a través y por debajo del muro, a la vez mitigando el riesgo de una posible inundación del área donde están ubicadas las comunidades beneficiarias de este sistema. Esta medida de mitigación tendrá un costo adicional a nuestra evaluación económica, ya que, el terreno no cumple con las condiciones necesarias de estanqueidad y para obtener una buena administración de los recursos y entregar en la justa medida el suministro a los agricultores de la zona, debemos contar con elementos que minimicen las pérdidas de agua en

su almacenamiento, por lo tanto se plantearon dos sistemas de impermeabilización de acuerdo a los alcances técnicos y económicos del estudio en cuestión.

Luego de realizado la evaluación técnica y económica de dos alternativas de impermeabilización del muro de tierra: Lámina de HDPE y Sistema Rocamix, se puede concluir que, el sistema Rocamix es una alternativa viable técnica y económica, ya que, cumple con ambas condiciones.

Técnicamente es factible la aplicación de Rocamix en la superficie de contacto con agua, por cumplir con todas las condiciones para impermeabilizar aguas arriba el muro del embalse, cabe mencionar, la utilización del sistema Rocamix es viable técnicamente, por lo fácil que resulta la aplicación, no existen maquinarias y herramientas especiales para la colocación de este producto, sino que se utilizan equipos y herramientas convencionales para el movimiento de tierra.

En términos económicos también es factible la construcción del embalse utilizando este sistema de impermeabilización, de acuerdo al flujo de caja del proyecto es viable la construcción del embalse con el sistema Rocamix, ya que cuenta con un VAN positivo (UF 4.984), TIR (7,51%) mayor a la tasa de descuento (6%) y una razón beneficio costo (1,25) mayor a 1, esto quiere decir que la construcción del embalse interanual irá en directo beneficio de la producción agrícola, aumentará la cantidad de hectáreas plantadas, quedando el sector de El Carmen – La Higuera, con una buena proyección económica para los años venideros.

En lo que se refiere a la impermeabilización del muro y optimización del recurso agua, se puede deducir lo siguiente, la potencialidad productiva donde se realizará el embalse de regulación, en este caso en el área de El Carmen y La Higuera, tiene directa relación con el mejor aprovechamiento de sus ventajas

comparativas para lograr en el tiempo una agricultura desarrollada; además se puede ver sometida a fuertes periodos de sequías lo que hace necesario la construcción de este embalse para una agricultura moderna y tecnificada.

6.2. RECOMENDACIONES

Una adecuada impermeabilización del muro aguas arriba del embalse, traerá consigo distintos beneficios, pero debemos tener presente lo siguiente:

- Los embalses de regulación interanual permiten aumentar la seguridad de suministro del agua, aun así, no solucionan definitivamente el problema de la oferta durante una sequía, por lo tanto, resulta necesario elaborar planes y estrategias a través de la flexibilización de la demanda y de la distribución.
- La sequia se debe abordar desde el punto de vista, que forma parte del ciclo productivo del agua, considerando mitigaciones cuando este etapa del ciclo este en proceso.
- Regulación y fiscalización por parte de la autoridad (DGA) a los regantes que tiene derechos de agua permanente en la zona y sugerir la reasignación temporal de los derechos.
- Dado que el sistema Rocamix, aún no está inserto como suministro en nuestro país, tenemos que adoptar la estrategia de importarlo desde China, que a estas alturas su ingreso está regulado por el sistema de aduanas. Los costos de transporte fueron considerados en el análisis económico. Por lo tanto, una vez que Rocamix este posicionado en



nuestro país y su utilización sea más común en la construcción, su valor será aún más conveniente que en la actualidad.



BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Centro de Información de Recursos Naturales (1996). *Manual de Obras Menores de Riego*. Santiago, Chile: [s.n].
- 2.- Ministerio de agricultura. (2005). *Normas y recomendaciones para el diseño de muros gravitacionales de tranque y de vertedero*. Santiago, Chile:
- 3.- Karl Terzaghi y Ralph B. Peck (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. segunda edición
- 4.- Domínguez S, Francisco Javier. (1945). *Curso de hidráulica*. Santiago, Chile: Segunda edición ampliada.
5. - United states departament of the interior bureau of reclamation Washington D.C. (1987). *Diseño de Embalses pequeños*. Washington D.C: Tercera edición.
- 6.- Ley 18.450. Fomento a la inversión privada en obras de riego. Diario oficial de la República de Chile, 30 de octubre de 1985.
7. - Ministerio de obras públicas, dirección general de aguas. Departamento de administración y recursos hídricos. (2002). *Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos*. Santiago, Chile.: Autor.
- 8.- Ministerio de obras públicas, dirección general de aguas. Departamento de administración y recursos hídricos. (2003). *Diagnóstico de obras de riego en los valles de La Ligua y Petorca, V Región, resumen ejecutivo*. Santiago, Chile: Autor.
- 9.- Departamento de administración de recursos hídricos, Ministerio de Agricultura. (2006). *Evaluación de recursos hídricos superficiales de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, Vª Región*, Santiago, Chile.: Autor.
- 10.- Dirección General de Aguas (2004). *Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*. Santiago, Chile: [s.n]
- 11.- Cía. Minera La Patagua (2005). *Ampliación Depósito de Relaves Javito*. Valparaíso, Chile: [s.n]



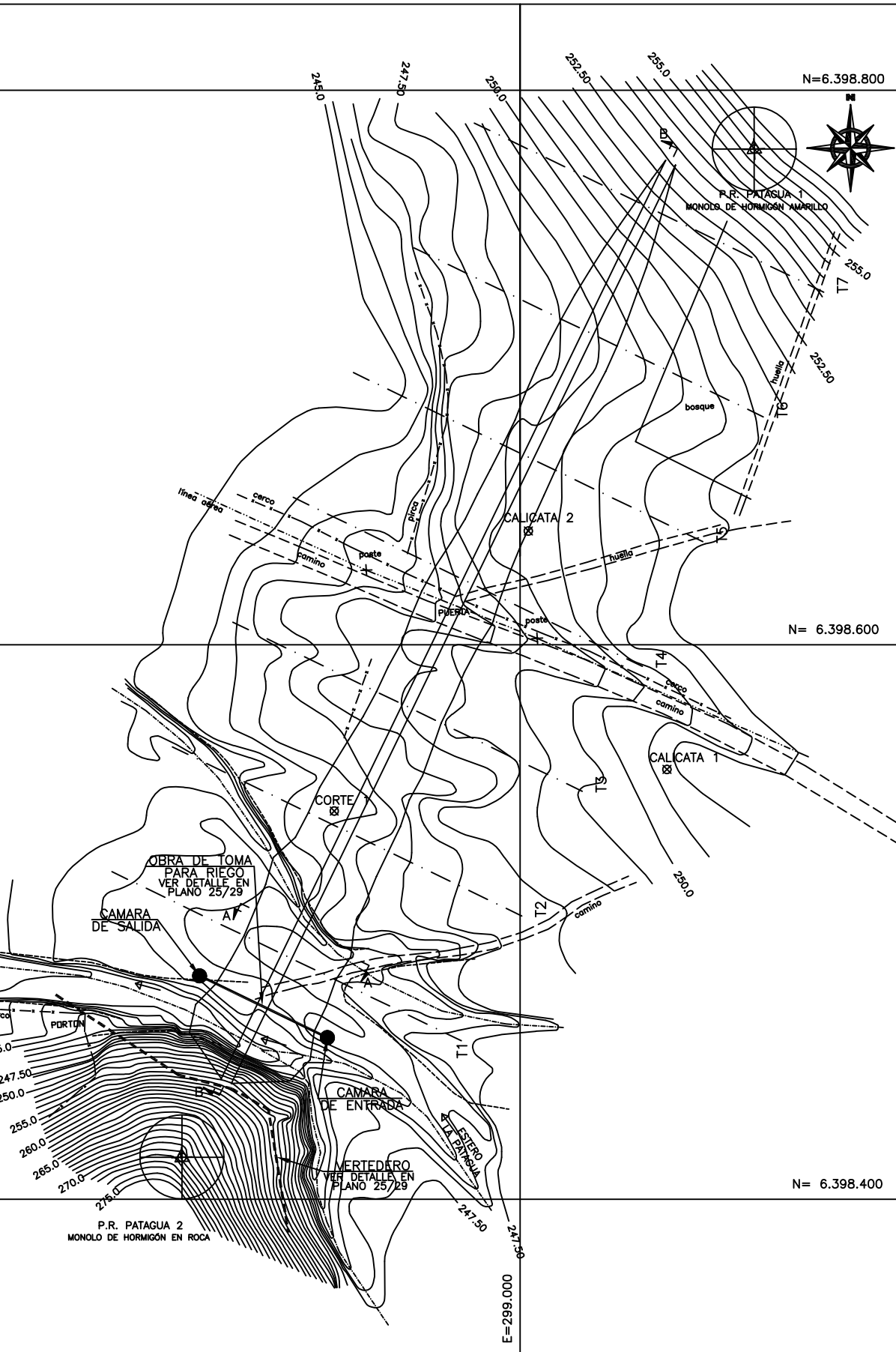
- 12.- Centro de Información de Recursos Naturales (2007), *Estudio de Localización de Embalses Menores y Balance Hídrico, Valles de la Ligua y Petorca*. Santiago, Chile: [s.n].
- 13.- Dirección General de Aguas (2004). *Estudio de Localización de Embalses Menores y Balance Hídrico*. Santiago, Chile: Autor.
- 14.- Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (2013). Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de las Cuencas del Río Petorca y Río La Ligua Región de Valparaíso. Santiago, Chile: [s.n]
- 15.- Ministerio de agricultura. (2005). *Agricultura chilena 2014: una perspectiva de mediano plazo*. Santiago, Chile: Autor.
- 16.- Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego, (2010), Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico, [s.a.]
- 17.- *Clasificación de suelos según AASHTO*, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO
- 18.- Carta de Plasticidad, Recuperado el 03 de enero del 2015, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>
- 19.- Clasificación de suelos según Sistema USCS, Recuperado el 05 de enero del 2015, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>
- 20.- Clasificación de suelos según Sistema USCS, Recuperado el 05 de enero del 2015, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>
- 21.- *Ciclo de la naturaleza Rocamix*. Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.Rocamix.es/formula_secreta.php
- 22.- *Clasificación de suelos según AASHTO*, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO
- 23.- *Clasificación sistema Rocamix*, (s.f.), Recuperado el 05 de enero del 2013, de http://www.Rocamix.es/clasificacion_Rocamix.php



- 24.- Localización de puntos IGM del Instituto Geográfico Militar. (2010), Recuperado el 10 de Enero del 2015, de <http://www.geoportal.cl/Visor/>
- 25.- Villón, M (2003). HCanales (2.1). [Programa de computador]. Costa Rica. Editorial. Tecnológica del Instituto Tecnológico.

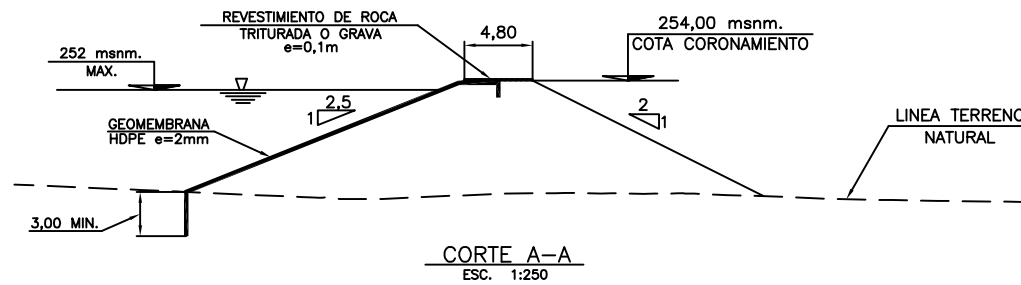
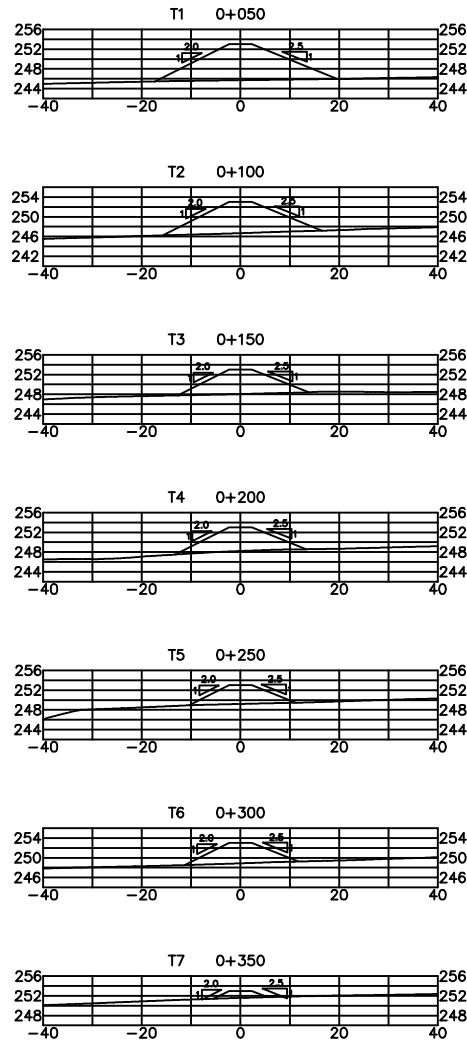


ANEXO 1: PLANOS DE PLANTA Y DETALLES DE EMBALSE LA PATAGUA

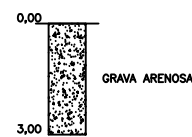


PLANTA GENERAL EMBALSE LA PATAGUA
ESC. 1:1000

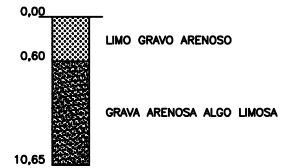
PERFILES TRANSVERSALES MURO
ESC. 1:750



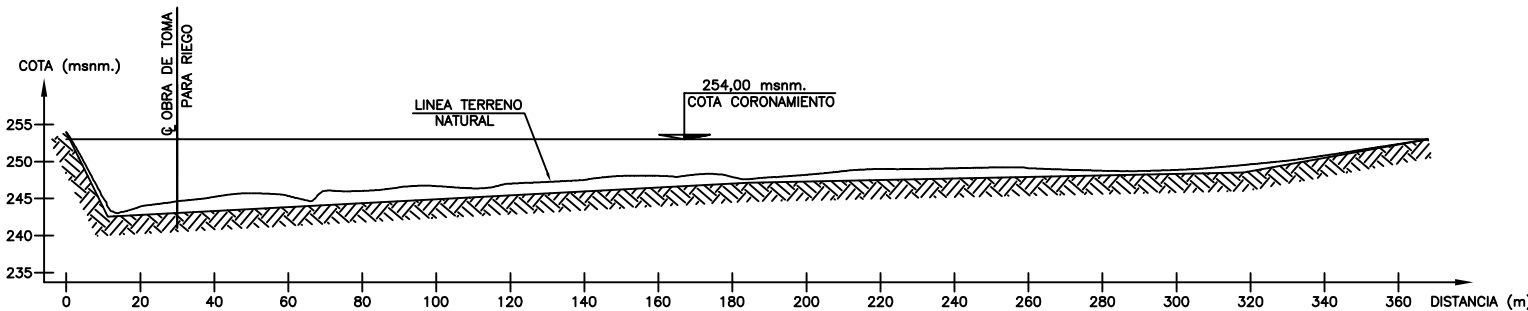
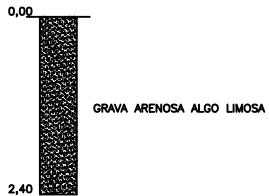
CALICATA 1



CALICATA 2



CORTE 1



CORTE B-B
PERFIL LONGITUDINAL MURO
ESC. H= 1:1000
V= 1:500

CUADRO DE CALICATAS

N°	COORDENADAS		Profundidad (m)
	Norte	Este	
CALICATA 1	6.398.555	299.053	1,50
CALICATA 2	6.398.641	2993	2,00
CORTE 1	6.398.540	298.933	2,40

CUADRO DE P.R.

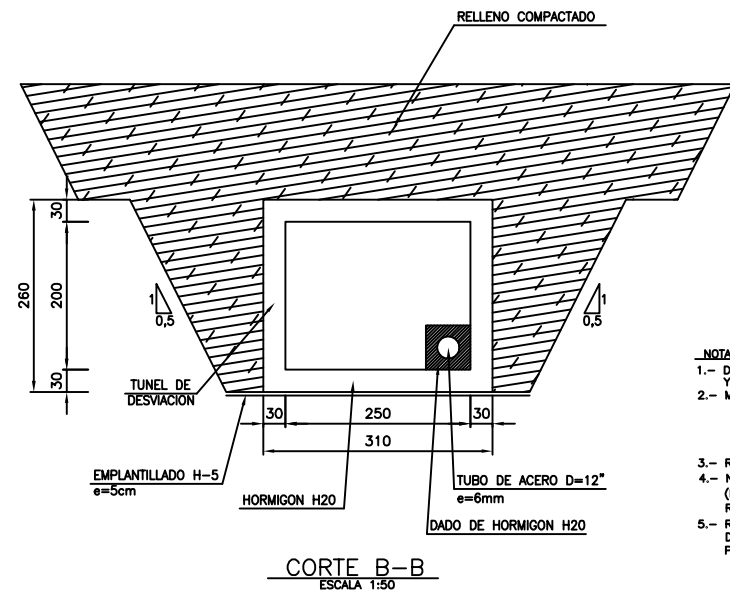
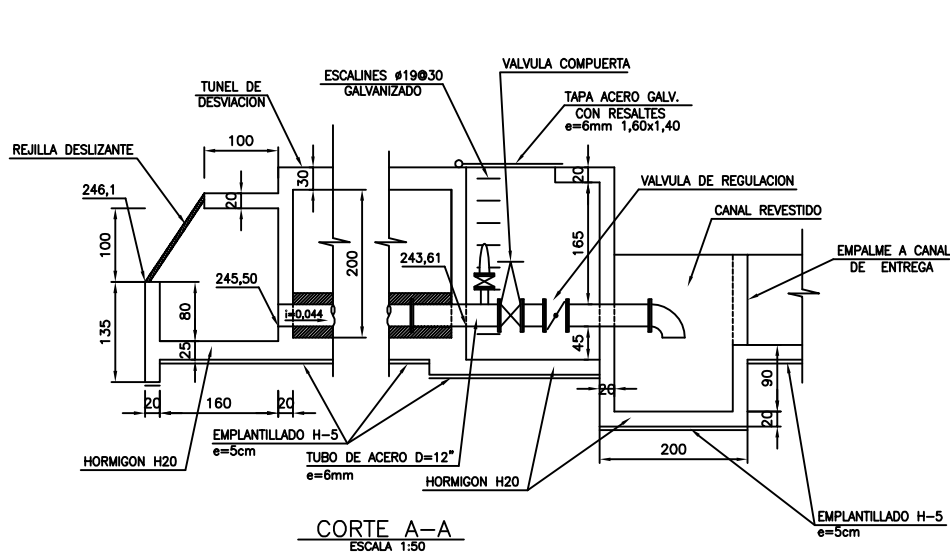
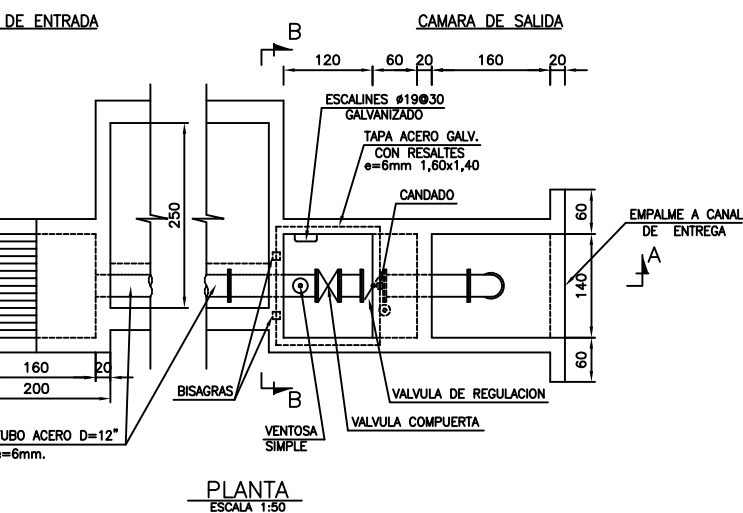
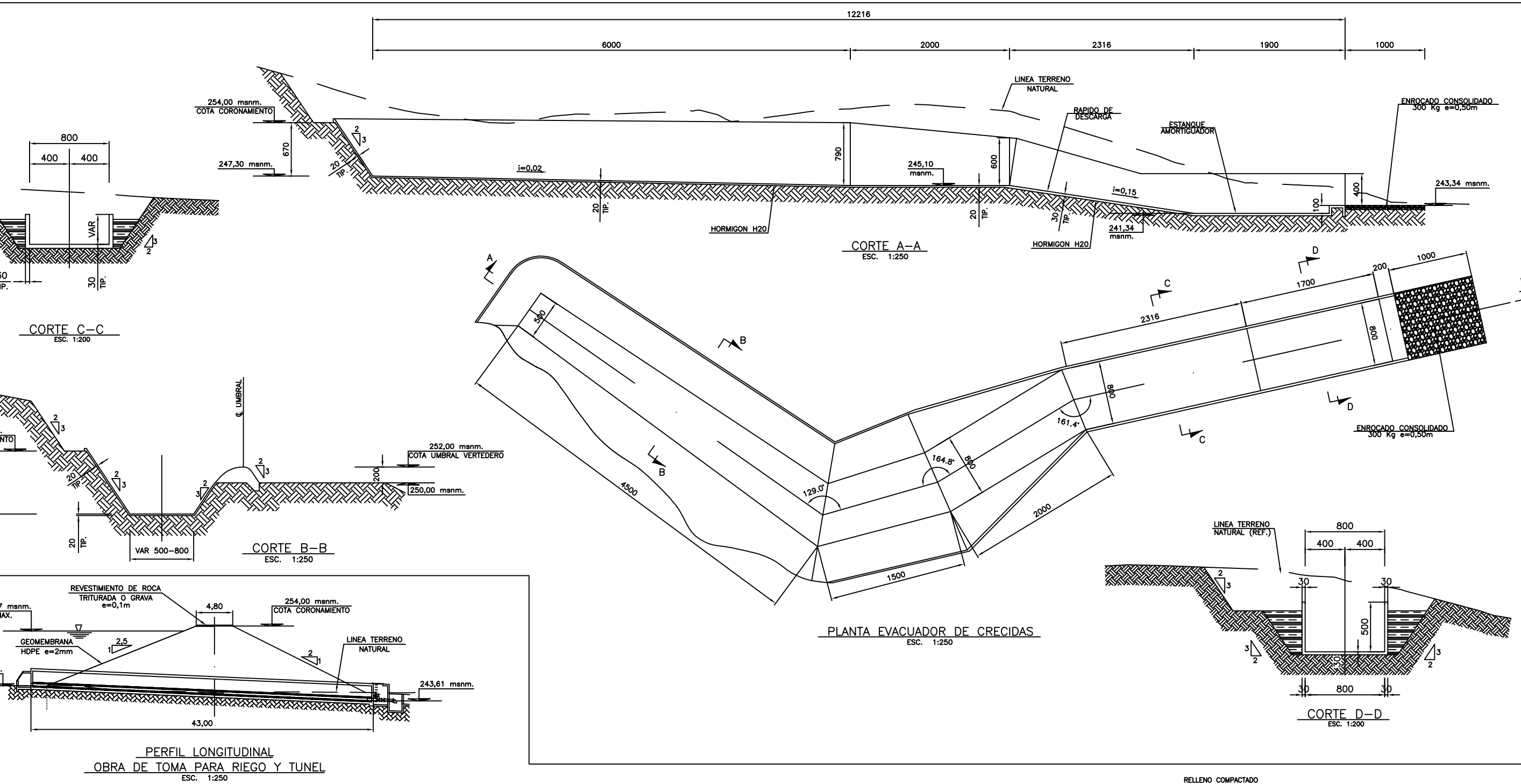
Nombre	COORDENADAS		Cota (m)
	Norte	Este	
PATAGUA 1	6.398.706,543	298.222,787	245,113
PATAGUA 2	6.398.415,093	298.878,121	270,649

SIMBOLOGIA

	= PUNTO DE REFERENCIA
160,00	= CURVA INDICE
	= CURVA DE NIVEL
	= MURO EMBALSE
	= CAMINO
	= CIERRO
	= CALICATAS

DATUM PSAD 1956

JEFE DE PROYECTO _____		PROYECTISTA _____				MODIFICACION	FECHA	APROBACION	ENC. REGIONAL	REVISOR	INSPECTOR FISCAL	PROYECTO: INNOVA CHILE: FACTIBILIDAD ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN DE EMBALSES MENORES VALLES DE LA LIGUA Y PETORCA	INDICE	INGRESO ARCHIVO N°			
										DPTO. PROJ. RIEGO	DPTO. CONST. RIEGO		SUB DIREC. RIEGO	CLASIF.	PLANO:	PLANTA GENERAL Y SECCION TIPO EMBALSE LA PATAGUA	
														REGION: V	D		CATEGORIA
INGENIERO CIVIL		INGENIERO CIVIL															
	NOMBRE	FECHA	FIRMA						DIRECTOR				ESCALA	CODIGO			
REVISO									FECHA DE APROBACION :				INDICADAS				
DIBUJO				REVISION	FECHA												



- NOTAS GENERALES**
- 1.- DIMENSIONES DE OBRAS DE HORMIGON EN CENTIMETROS Y ELEVACIONES EN m S.N.M. (S.I.C.)
 - 2.- MATERIALES:
 - HORMIGON: H20 CON 90% de nivel de confianza
 - ACERO: A63-A2H
 - EMPLANTILLADO e= 5cm HORMIGON H5
 - CUANTIA 70 Kg/m3
 - 3.- RECUBRIMIENTO DE ARMADURA: 5cm
 - 4.- NO SE DEBE FUNDAR EN SUELOS DE ALTA PLASTICIDAD (MH Y CH), SE DEBE USAR MATERIAL DE REEMPLAZO PARA EL SUELO DE FUNDACION.
 - 5.- RELLENO COMON COMPACTADO, DENSIDAD DE COMPACTACION DE A LO MENOS EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MAXIMA PROCTOR MODIFICADO

JEFE DE PROYECTO	PROYECTISTA	MODIFICACION	FECHA	APROBACION	ENC. REGIONAL	REVISOR	INSPECTOR FISCAL	PROYECTO:	INDICE	INGRESO ARCHIVO N°
INGENIERO CIVIL	INGENIERO CIVIL				DPTO. PROJ. RIEGO	DPTO. CONST. RIEGO	SUB DIREC. RIEGO	ESTUDIO DE LOCALIZACION DE EMBALSES MENORES VALLES DE LA LIGUA Y PETORCA	CLASIF.	PLANO:
REVISOR	FECHA							REGION: V	D	OBRAS DE ARTE EMBALSE LA PATAGUA
DIBUJO	FIRMA								ESCALA	CODIGO
		REVISION	FECHA						INDICADAS	CATEGORIA
					FECHA DE APROBACION :					



ANEXO 2: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE IMPERMEABILIZACIÓN DEL MURO CON ARCILLA (DISTANCIA 50 KM)



Cubicaciones y Presupuesto:

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	P.TOTAL
			UF	UF
Excavación	m3	3.297	0,203	669,16
Rellenos Presa	m3	23.064	0,282	6.497,68
Arcilla (empréstimo 50 km)	m3	11.532	0,996	11.485,87
Hormigón H30	m3	160	3,672	586,63
Acero Armadura	kg	11.183	0,038	422,19
Tubería de Acero D= 12"	ml	48	16,162	781,84
Válvula de Compuerta D= 300 mm	unid	1	28,158	28,15
Válvula de Regulación D= 300 mm	unid	1	11,105	11,10
Válvula Ventosa 75 mm	unid	1	2,385	2,38
SUBTOTAL				20.485,03
Gastos Generales			25,27%	5.176,45
TOTAL				25.661,49

FLUJO CAJA:

Año	Costo Obras Civiles		Margen Agrícola		
	Construcción	Operación y Mantenición	Situación Agrícola	VAN Parcial	VAN Acumulado
0	25.661,496		-229,764	-25.891,260	-25.891,260
1		128,307	-111,491	-226,225	-26.117,485
2		128,307	-401,472	-471,502	-26.588,987
3		128,307	-325,816	-381,291	-26.970,278
4		128,307	591,783	367,116	-26.603,161
5		128,307	634,401	378,182	-26.224,979
6		128,307	796,824	471,277	-25.753,702
7		128,307	1.362,900	821,075	-24.932,627
8		128,307	1.701,378	986,964	-23.945,663
9		128,307	1.882,945	1.038,567	-22.907,096
10		128,307	2.013,345	1.052,595	-21.854,501



11		128,307	2.350,042	1.170,382	-20.684,118
12		128,307	3.059,643	1.456,784	-19.227,334
13		128,307	3.181,460	1.431,437	-17.795,897
14		128,307	3.343,883	1.422,252	-16.373,645
15		128,307	3.343,883	1.341,747	-15.031,898
16		128,307	3.343,883	1.265,799	-13.766,098
17		128,307	3.343,883	1.194,150	-12.571,948
18		128,307	3.343,883	1.126,557	-11.445,391
19		128,307	3.343,883	1.062,790	-10.382,601
20		128,307	3.343,883	1.002,632	-9.379,970
21		128,307	3.215,336	908,066	-8.471,904
22		128,307	3.226,728	859,828	-7.612,076
23		128,307	3.071,100	770,415	-6.841,661
24		128,307	2.999,049	709,012	-6.132,649
25		128,307	2.827,790	628,976	-5.503,674
26		128,307	2.993,978	629,903	-4.873,771
27		128,307	3.124,186	621,249	-4.252,521
28		128,307	3.229,052	606,599	-3.645,922
29		128,307	3.064,241	541,846	-3.104,076
30		128,307	3.064,241	511,176	-2.592,900

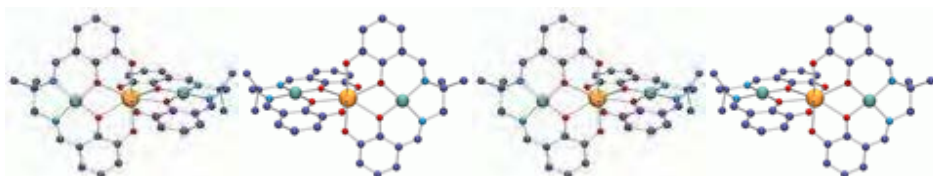
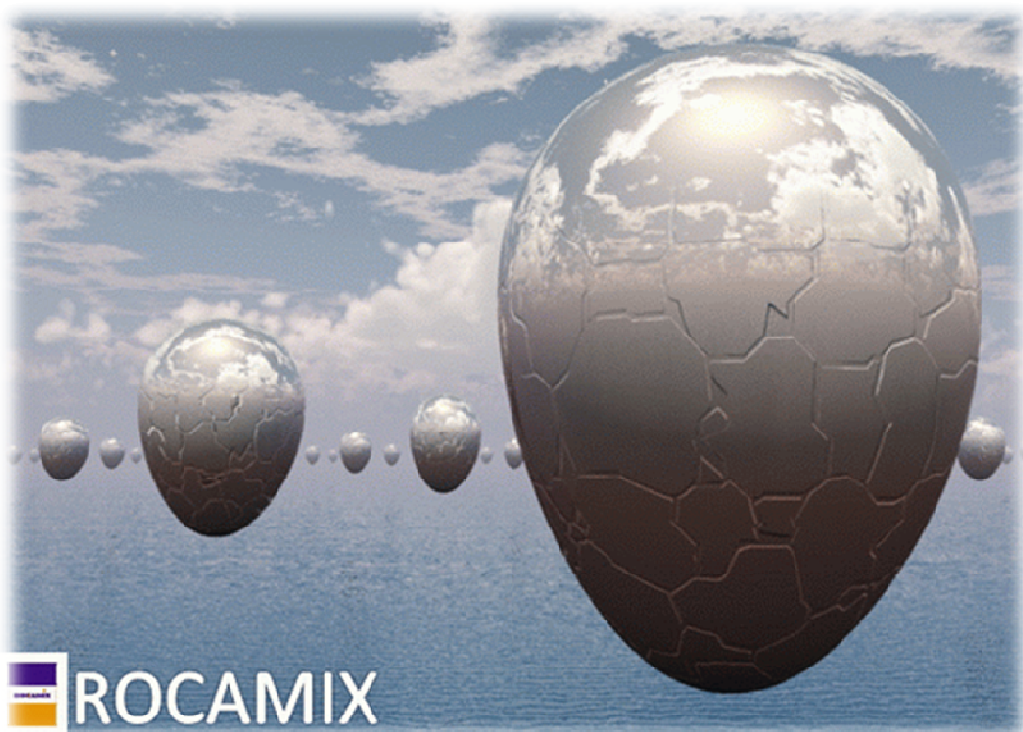
Tabla Resumen Evaluación Económica.

Descripción	Valor
COSTO NETO ACTUALIZADO	UF 27.428
BENEFICIO NETO ACTUALIZADO	UF 24.835
TIR	5,35%
VAN	-2.593
RELACION BENEFICIO- COSTO	0,91

Fuente: Elaboración Propia.



ANEXO 3: ENSAYOS ROCAMIX



MANUAL SIMPLIFICADO PARA ENSAYOS DE LABORATORIO

Viejos hábitos + Antiguas tecnologías = Mundo sin futuro*

*Documental "Una verdad incómoda" del ex vicepresidente de EUA, Al Gore, sobre el cambio climático y salvar la especie humana

ROCAMIX®

Patent Word Intellectual Property Organization n° 572 636 -27.11.07

CONSULT MANAGEMENT KNOW HOW *Company* s.a capital 150 000 us\$

Calle Elvira Méndez-Edificio Banco de Boston-Oficina 1708 - Ciudad de Panamá – Panamá

Distribuidor exclusivo

info@rocamix.com

www.rocamix.com

CRONOLOGÍA DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

La metodología **ROCAMIX**, generalmente, puede ser empleado para realizar muchas, pequeñas o medias aplicaciones de estudio de laboratorio. La información sobre la clasificación del suelo, **ES OBLIGATORIA**. Pero con vista a lograr **seguridad** en el éxito de la aplicación y utilizar la dosis más precisa para no malgastar producto necesariamente, es recomendable efectuar los ensayos de laboratorio según el modelo abajo.

Pasos a seguir en el laboratorio

PROCEDER A LA CLASIFICACIÓN AASHTO DEL SUELO Y APLICAR LA EQUIVALENCIA ROCAMIX R1, R2, R3 DETERMINAR LA HUMEDAD NATURAL, LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD ÓPTIMA (PROCTOR) PESAR Y PREPARAR 6 MUESTRAS IDÉNTICAS

- 2 MUESTRAS SIN NINGÚN ADITIVO, llamadas **(O)**
- 2 MUESTRAS MEZCLADAS CON LOS PRODUCTOS ROCAMIX *concentrado* (diluido en una proporción de 1 dosis para 20 dosis de agua **Ver detalle pagina 3 o 5**) + CEMENTO en **cantidades determinadas** POR LA CLASIFICACIÓN ROCAMIX + la cantidad de agua determinada por el PROCTOR llamadas **(R)**
- Y LAS 2 ÚLTIMAS MUESTRAS SON MEZCLADAS CON LAS DOSIS MÁXIMAS, 0,60 litro/m³ para ROCAMIX *concentrado* y 30 kg/m³ de CEMENTO llamadas **(RM)**

PONER ESTAS 6 PREPARACIONES DENTRO DE 6 MOLDES Y PROCEDER A LA COMPACTACIÓN SIGUIENDO LAS REGLAS DEL PROCTOR *modificado*. Se puede también utilizar una prensa hidráulica 50kg/cm² presión DE INMEDIATO DESPUÉS LA COMPACTACIÓN SACAR CON CUIDADO LAS PREPARACIONES DE LOS MOLDES Y DEJAR SECAR DE MANERA NATURAL. **Al mínimo 3 días** El color cambiante de las muestras certifica el secado **PESAR 3 MUESTRAS SECAS** (1 de cada composición (O) + (R) + (RM) **EN UNA BANDEJA** VERTER ENTRE 1cm/2cm DE ALTURA DE AGUA **PONER LAS 3 MUESTRAS** (1 de cada composición (O) + (R) + (RM) EN LA BANDERA

ENSAYOS DE ASCENSO CAPILAR

OBSERVAR, COMPARAR Y ANOTAR LOS EFECTOS DE LA SUBIDA DEL AGUA SOBRE LAS PAREDES DE LAS MUESTRAS Y PESAR LAS PREPARACIONES SEGÚN LA CRONOLOGÍA

- 24 horas
- 72 h horas
- 168 horas
- 720 horas

PESAR LAS MUESTRAS SEGÚN LA CRONOLOGÍA

ENSAYOS CBR (Californian Bearing Ratio)

CON LAS OTRAS 3 MUESTRAS REALIZAR LOS ENSAYOS CBR según las normas establecidas

RESULTADOS

TRANSCRIBIR TODOS LOS RESULTADOS (DATOS Y FOTOS) EN FORMATO DIGITAL

TRANSMITIR TODOS LOS RESULTADOS EN FORMATO DIGITAL (DATOS Y FOTOS) A ROCAMIX

Es solamente después haber realizados todos estos ensayos necesarios que es posible y certificado el tipo de tratamiento del suelo el más adecuado.

El estudio complementario que debe ser realizado es el

CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TRATAMIENTO

El laboratorio o la Oficina de estudios deben determinar el espesor del tratamiento según su utilización futura. Debe realizar los cálculos necesarios, utilizando los ábacos preestablecidos y los programas informáticos empleados para este tipo de cálculos.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS *metodología* AASHTO Y *metodología* ROCAMIX

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ROCAMIX: Ensayos de laboratorio

Clasificación General	Materiales granulares. (35% como máximo de la que pasa el tamiz Nº 200)							Materiales de arcilla-limo (más de 35% del total de la muestra que pasa el tamiz Nº 200)			
Clasificación AASHTO	A-1	A-1-b	A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5 A-7-6
Clasificación SUCS	GW	GC	SM	SM	SC	SC	SP	ML	MH	CL	OH
Tipos de suelos	Suelos buenos a regulares							Suelos regulares, malos a muy malos			
Clasificación ROCAMIX	R1	R1	R2	R2	R2	R2	R3	R2	R3	R3	R3

LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO permite determinar la cantidad de ROCAMIX concentrado y de CEMENTO a utilizar por M3

Clasificación	DOSIS										
de Producto por m3	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,60	0,60
Programa de cemento por m3	10/15	10/15	15/20	15/20	15/20	15/20	20/25	15/20	20/25	20/25	20/25

Los suelos clasificados AASHTO (A3; A-7-5; A-7-6) SUCS (SC; OH) muy difíciles de tratar deben tener más ensayos de laboratorio de manera obtener los mejores resultados utilizando los aditivos Cemento, o cemento+cal, o cal, (por ejemplo tanto con más cal para los suelos A-7-6, OH) o una mezcla de otra tierra de clasificación diferente (por ejemplo 3 a 10% de suelo en el caso del A3, SP)

¡OJO! El producto ROCAMIX concentrado debe ser diluido en una cantidad de agua MÍNIMA de 1 dosis de producto por dosis de agua (a lo cual se suma, cuando se mezcla con el suelo la cantidad de agua determinada por los parámetros del PROCTOR)

MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS Y NECESARIOS PARA REALIZAR LOS ENSAYOS

- Material**
45/50 kg de suelo del lugar
- Herramientas**
Según la norma ASTM (American Standard Test Method)
- Medio de transmisión**
1 computadora para transmitir los datos



IMÁGENES DE ENSAYOS *ejemplos*

1



Los ensayos empiezan por **la extracción del suelo de la obra a tratar**. Sea más o menos 45/50 kg de suelo.

2



El extracto debe ser **perfectamente tamizado** de manera que las muestras **no tienen partículas más grande** que 0,075 mm.

3



Después, en el laboratorio, con este suelo tamizado y seco, **pesar 6 proporciones de XXX gramos** para realizar 6 ensayos.

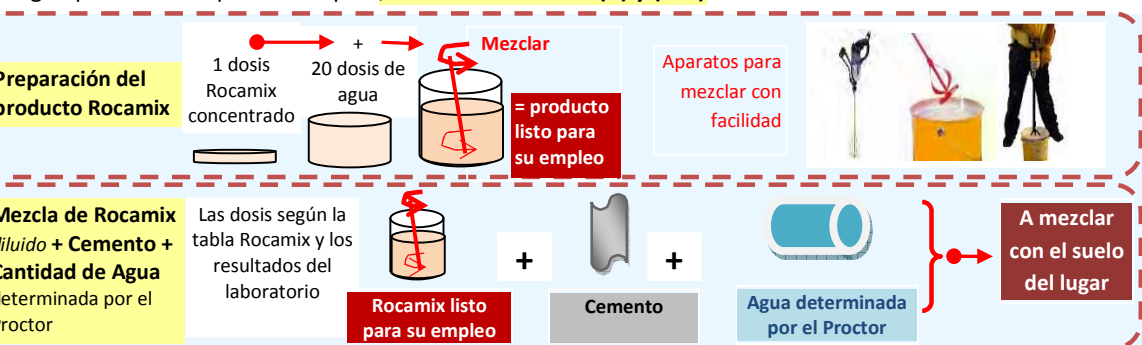


4

ar las **6 muestras** de la manera siguiente:

ngún aditivo, **muestras llamadas (O)**

a **adición de** las dosis de producto ROCAMIX *concentrado* y diluido en una proporción de 1 dosis para 20 de agua para ser listo para su empleo, **muestras llamadas (R) y (RM)**



OBLIGATORIO que el producto ROCAMIX *diluido listo para su empleo* para ser aplicado en el suelo debe ser lo también con el suplemento de agua cuya cantidad está determinada por los resultados alcanzados por los ensayos PROCTOR *modificado*.

objetivo de irrigar el suelo con la mayor certeza de lograr toda la superficie, es obligatorio agregar al suelo existente dosis de AGUA de al menos 1% de su peso, o sea un promedio *teórico* de 20/22 litros de AGUA por M3.

por ejemplo con un suelo que tiene una clasificación R3 (es decir las dosis por M3 son 0,50 litro ROCAMIX *concentrado* + cemento) y que necesita un aditivo de **30 litros** de AGUA para cumplir los parámetros del PROCTOR, el cálculo es así: litro de ROCAMIX *concentrado* + el AGUA necesaria para obtener el ROCAMIX *diluido listo para su empleo*, o sea 1 dosis de ROCAMIX *concentrado* + 20 dosis de AGUA = $0,50 \times 20 = 10$ Litros de AGUA. Y como los parámetros del PROCTOR imponen de 30 litros de AGUA es necesario completar los 30 litros (de los parámetros PROCTOR) menos los 10 litros de la formación de ROCAMIX *concentrado* en ROCAMIX *diluido listo para su empleo* = **20 litros** más de AGUA.

ndo se realiza la obra, y cuando el tratamiento es efectuado sobre un espesor mínimo de 15 cm, el mínimo de AGUA + ROCAMIX *diluido* será al menos de **3 litros por M2**.

so de los suelos saturados de agua, no es posible "añadir" una sobredosis de la misma, ya que no se corresponderá con los parámetros del PROCTOR *modificado* previamente establecidos con las pruebas de laboratorio.

os esperar:

que el sol y el aire sequen al suelo de forma natural

o crear condiciones artificiales (por ejemplo, absorber la humedad del suelo mediante el tratamiento con cal) para reducir la humedad.

la **adición de** la cantidad máxima=Rocamix *concentrado*=0,60 litro/m3; CEMENTO=30 kg/m3 **llamadas (RM)**

muestras recibiendo aditivos de productos – las **llamadas (R) y (RM)**

en ser realizadas **con mucha aplicación** (pues la cantidad de producto ROCAMIX es muy poca y la mezcla del suelo y los productos cuidadosamente ejecutada).

5

Las muestras **serán preparadas** en los **moldes previstos para los ensayos del PROCTOR modificado y del CBR** o serán realizados en moldes para prensa hidráulica

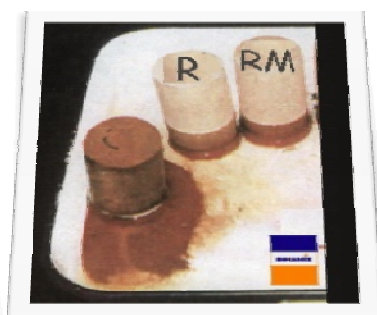


6

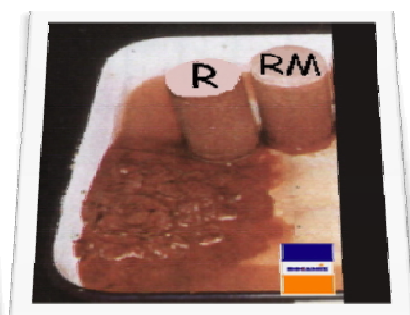
Para las 6 muestras **en los moldes** que son utilizados para los ensayos del PROCTOR *modificado* o del CBR. Las muestras, puestas en los moldes, **pueden ser comprimidas** (50 kg/cm²) con una prensa hidráulica (equipamiento como en la foto) inmediatamente después de la confección de las muestras, **desmoldarlas, dejar secar de manera natural al mínimo y pesar.**



5 minutos



3 horas



72 horas

Después del secado, y del PESAJE preparar una bandeja y verter de 1 a 1,5 cm de agua en la bandeja poner las 3 muestras (O) + (R) + (RM).

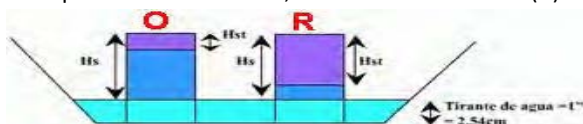
Después de 3 horas la muestra (O) sin ningún aditivo de producto, se llena de agua. Después de 72 horas está completamente destruida. **Las muestras (R) y (RM) que contienen los aditivos se mantienen, y el ascenso capilar es mínimo y solamente sobre las paredes.**

La **ascensión capilar** es decir **impermeabilización** está confirmada por la casi nula diferencia entre el **peso de las muestras** tratadas después de sus inmersiones en el agua y la comparación **con el peso inicial.**

EVITAR PESAR LAS MUESTRAS ANTES DE PONERLAS EN LA BANDERA Y DESPUÉS SEGÚN EL CRONOGRAMA

Después de 15 días las 2 muestras (R) y (RM) han alcanzado una humedad muy por encima de la óptima **pero mantienen el estado de compactación similar a este mismo suelo pero seco.**

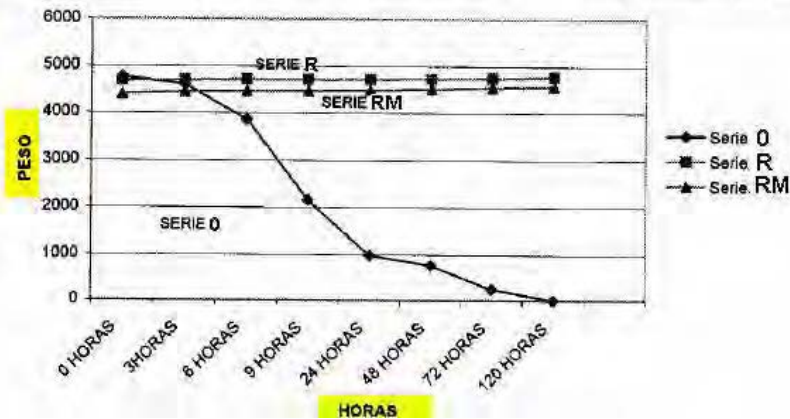
Se anota que en este ejemplo, la muestra (R) realizada con menos productos que la muestra (RM) tiene un comportamiento similar para el ascenso capilar. Si el ensayo CBR confirma (*casi siempre se confirma*) que el comportamiento y capacidad de soporte es satisfactorio, la dosis de la muestra (R) será utilizada para la obra.



APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ROCAMIX: Ensayos de laboratorio

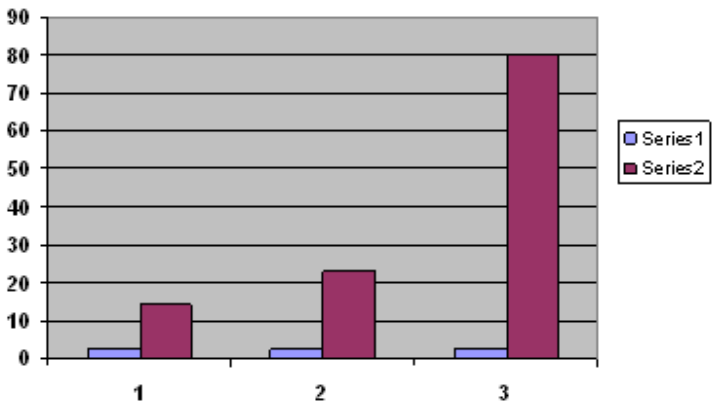
Modelo de ficha POR PESO DE LAS MUESTRAS del ensayo de impermeabilización

RA	0 HORAS	3 HORAS	6 HORAS	9 HORAS	24 HORAS	48 HORAS	72 HORAS	120 HORAS
	4765	4608	3854	2154	976	763	245	0
	4677	4700	4709	4716	4720	4730	4742	4767
M	4408	4446	4465	4472	4487	4511	4542	4568



Ensayos CBR - Californian Bearing Ratio – son realizados con las otras 3 muestras, respetando las normas
 aplicadas y utilizando un equipamiento de laboratorio que mide los valores de penetraciones. Para más
 informaciones, visitar el sitio www.rocamix.com/pruebas_cbr.php

Modelo de ficha de ensayo CBR



COMENTARIOS SOBRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

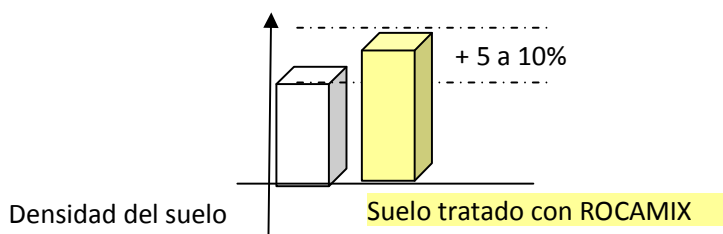
objetivo de evitar errores lo cual podría ser muy perjudicial a la realización de cualquier obra con el uso de esa Tecnología, ROCAMIX aconseja de utilizar los servicios de un LABORATORIO CERTIFICADO para realizar los ensayos de laboratorio.

----- ENSAYOS OBLIGATORIOS Y ESPECÍFICOS ROCAMIX -----

Importante recordar que con la Tecnología ROCAMIX el suelo tratado modifica su comportamiento y por ende propiedades ingenieriles.

DENSIDAD DEL SUELO

Densidad del suelo seco *tratado* aumenta normalmente entre un 5 a 10% en comparación con la del suelo no tratado, y ese valor se mantiene durante todas las temporadas que tienen mucha humedad.



ASCENSO CAPILAR E IMPERMEABILIZACIÓN

Como se demostró en las páginas precedentes, el tratamiento del suelo con la Tecnología ROCAMIX tiene como objetivo reducir casi a cero el ascenso capilar. Abajo, 2 fotos de muestras **sumergidas totalmente en agua hace más de 24 horas** sin ningún efecto negativo. Laboratorio del CECAT, Centro Universitario J.A.E – La Habana – Cuba.

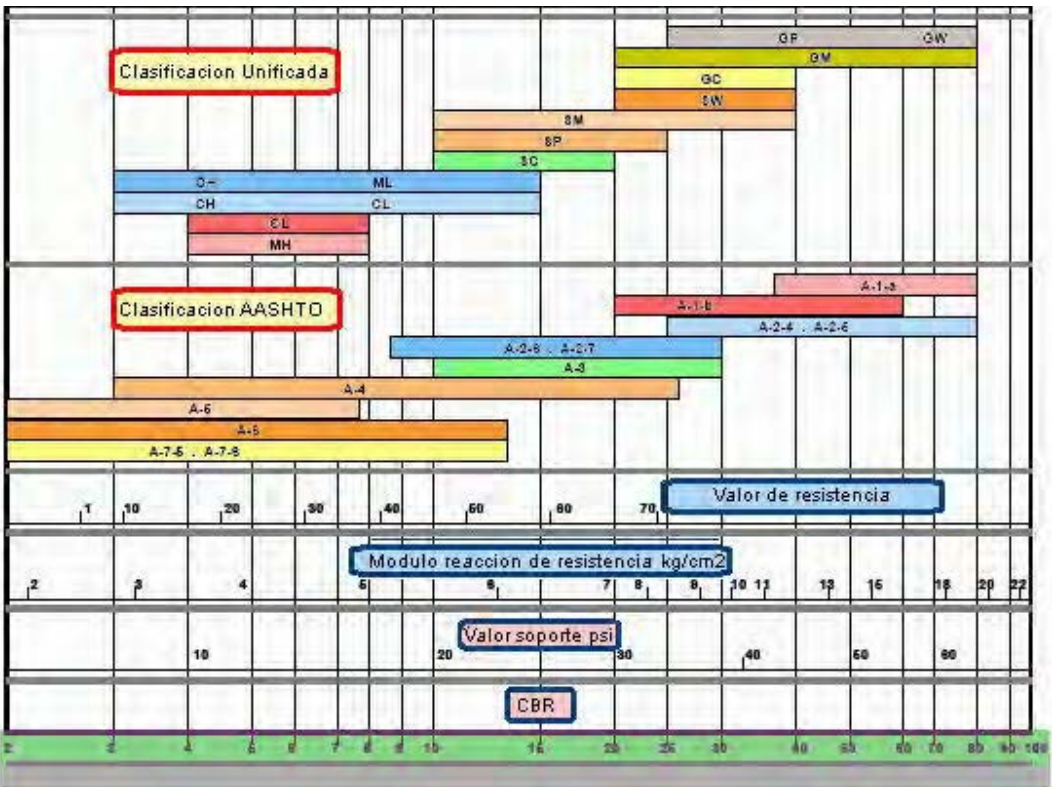


ENSAYOS CBR (Californian Bearing Ratio – VALOR DE SOPORTE)

Al comparar el suelo NO tratado y el suelo tratado con ROCAMIX, en el caso de un suelo con Humedad Optima, debemos observar **un aumento del valor soporte (del CBR) de 20 / 50 %**

Complemento de información

ESPESOR DEL TRATAMIENTO DEL SUELO CON LA TECNOLOGÍA ROCAMIX

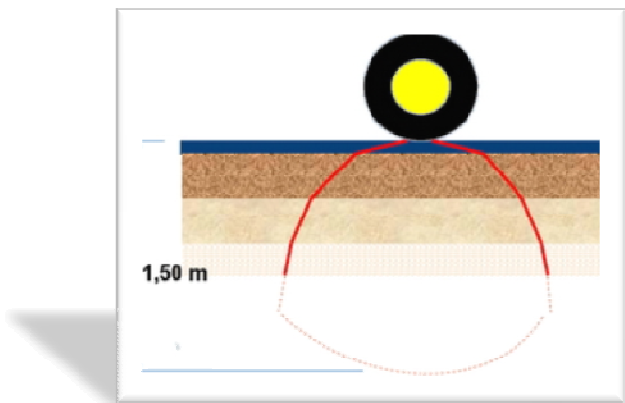


Cuadro de los cálculos de valor soporte de los suelos sin tratamiento en función de su clasificación

Para determinar el espesor del tratamiento del suelo con la Tecnología ROCAMIX, se deben considerar los diversos ábacos disponibles para el cálculo del espesor de los suelos compactados en función de su clasificación y de su utilización futura, y los cálculos con la ayuda de programas especializados de uso común en un laboratorio certificado, para poder determinar el espesor del tratamiento del suelo con la Tecnología ROCAMIX.

AASHTO	CBR
A-7-5 y A-7-6	< 2 a 13.5
A-6	< 2 a 13.5
A-5	< 2 a 7.8
A-4	3 a 25
A-3	10 a 30
A-2-6 y A-2-7	8.5 a 30
A-2-4 y A-2-5	25 a > 80
A-1-b	20 a 60
A-1-a	38 a > 80





Ejemplos de espesores para la utilización de la Tecnología ROCAMIX

Años de manejo de la Tecnología Rocamix permiten presentar nociones de espesor en función de la utilización. Sin embargo, un estudio específico para cada aplicación es obligatorio pues el espesor del tratamiento depende de la

<Clasificación del suelo> y de < la utilización futura de la obra>

Camino de campo Calle secundaria Camino provisional Basureros	Suelo tratado con la Tecnología Rocamix Terreno natural <i>Verificar la estabilidad</i>		Espesor de tratamiento 15 cm	Es aconsejado, sobre el suelo tratado, de poner un riego reforzado de imprimación + filler
Reserva de agua Presas Canales	Suelo tratado con la Tecnología Rocamix Terreno natural <i>Verificar la estabilidad</i>		Espesor de tratamiento 15/20 cm	
Carretera Ferrocarril Caminos de mina Autopista	Suelo tratado con la Tecnología Rocamix Terreno natural <i>Verificar la estabilidad</i>		Espesor de tratamiento 20/ 30 cm	
Pista de avion Taxiway Plataformas	Suelo tratado con la Tecnología Rocamix Terreno natural <i>Verificar la estabilidad</i>		Espesor de tratamiento 40 cm	



ROCAMIX ... abrir caminos ...

